ユーザーマニュアル

FLIR ix series

Publ. No.	T559733_ja-JP
Revision	a571
Language	Japanese (JA)
Issue date	November 4, 2011

ユーザーマニュアル

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

免責条項

FLIR Systemsが製造するすべての製品は、FLIR Systemsの指示に準拠して保存、使用、保守が通常通り行われていた場合、最初の購入による配達日から 1 年間、素材および製造時の不良に対し保証されます。

FLIR Systems が製造する非冷却式携帯型赤外線カメラは、FLIR Systems の指示に従い通常の方法で保存、使用、および整備され、購入日より 60 日以内に登録された場合、購入品の配達日から 2 年間、素材および製造時の不良について保証されます。

FLIR Systems が製造する非冷却式携帯型赤外線カメラ用検知器は、FLIR Systems の指示に従い通常の方法で保存、使用、および整備され、購入日より 60 日以内に登録された場合、購入品の配達日から 10 年間、素材および製造時の不良について保証されます。

FLIR Systemsが製造したものではないが FLIR Systemsが最初の購入者に納品したシステムに組み込まれている製品は、特定のサプライヤーの保証がある場合は、その保証のみが付けられています。FLIR Systemsはそのような製品に対し、いかなる責任も負いません。

この保証は最初の購入者のみを対象とし、譲渡できません。また、誤用、不履行、偶発事故、または異常な操作が行われた製品には適用されません。消耗品はこの保証から除外されます。

この保証の対象となる製品で不良が発生した場合、更なる損害を防ぐため、その製品を続けて使用してはいけません。購入者はすぐに不良を FLIR Systems に報告するものとします。これを怠ると保証は適用されません。

FLIR Systems は、調査によりかかる不良が素材によりまたは製造時に発生したことが証明され、上記1年の期間内に FLIR Systems に返品された場合、その自由裁量により、かかる不良製品を無償で修理または交換するものとします。

FLIR Systems は上記に規定した以外の不良に対する責務または法的責任を負いません。

その他の一切の保証は表明または暗示されていません。FLIR Systems は商品性の黙示保証および特定の目的への適合性への免責をここに明示します。

FLIR Systems は、契約や不法行為など他の法理論に基づいていようと、直接的、間接的、特別な、偶発的、または必然の損失または損害に対する責任を負わないものとします。

この保証には、スウェーデンの法律が適用されます。

この保証が原因で、あるいはこの保証に関連して生じた紛争、論争、申し立ては、最終的にはストックホルム商工会議所の仲裁協会の規則に従って解決するものとします。仲裁場所はストックホルムとします。仲裁手続で使用する言語は英語とします。

著作権

品質保証

これらの製品が開発および製造される品質管理システムは ISO 9001 規格に準拠していることが証明されています。

FLIR Systems は開発続行ポリシーを公約しています。そのため、事前に通知することなく本書に記載された各製品を変更および改良する権利を保持しています。

特許権

次の1つまたは複数の特許または意匠特許が、このマニュアルで記載した製品/機能に適用します。

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1402918; 1404291; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; 7667198; 7809258; 7826736; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; DI6702302-9; DI6703574-4; DI6803572-1; DI6803853-4; DI6903617-9; DM/057692; DM/061609; 登録番号; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200480034894.0; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2; ZL200930190061.9

EULA Terms

- You have acquired a device (“INFRARED CAMERA”) that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates (“MS”). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and “online” or electronic documentation (“SOFTWARE”) are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.

- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT (“EULA”), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**

- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:

- You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
- **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT.FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
- **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
- No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.$250.00).**
- **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
- **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
- **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see http://www.microsoft.com/exporting/.

目次

1 警告および注意

警告

- (クラス A デジタル機器のみに該当) 本機は、無線周波エネルギーを発生、使用しており、当該エネルギーを外部に放射することがあります。取扱説明書に従って設置および使用していない場合、無線通信に影響を与えることがあります。 本機は、FCC 規則第15章 J 項に定められたクラス A コンピュータ機器に関する規制要件に基づいて所定の試験が実施され、これに適合するものと認定されています。この規則は商業環境で機器を操作するときに、電波妨害からの適切な保護を提供することを目的としています。住宅地域における本機の使用は電波妨害を引き起こすことがあり、その場合ユーザーは自己負担で電波妨害の問題を解決するために必要なあらゆる措置を講じなければなりません。
- (クラス B デジタル機器のみに該当) 本機は、FCC 規則第15章に定められたクラス B デジタル機器に関する規制要件に基づいて所定の試験が実施され、これに適合するものと認定されています。これらの規則は住宅地域で、深刻な電波妨害からの適切な保護を提供することを目的としています。本機は無線周波エネルギーを発生、使用、および外部に放射することがあります。取扱説明書どおりに設置および使用しない場合、無線通信に深刻な影響を与えることがあります。ただし、特定の設置場所で電波妨害が生じないことを保証するものではありません。本機が無線やテレビ受信の深刻な電波妨害の原因になっている場合は(本機の電源のオンとオフを行って確認できます)、次のいくつかの対処方法を実行して電波妨害を解消することをお勧めします。
  - 受信アンテナの方向を変更する、または場所を変更する。
  - 本機と受信機の間の距離を離す。
  - 受信機が接続しているコンセントとは別の回路のコンセントに本機を接続する。
  - 販売店または経験のある無線やテレビ技師に相談して助けを求める。
- (15.19/RSS-210 に準じるデジタル機器のみに該当) 通知: このデバイスは FCC 規則第 15 章およびカナダ産業省の RSS-210 に準じています。操作の際は次の 2 つの条件を満たす必要があります:
  1. このデバイスは深刻な電波妨害を引き起こす可能性はなく、
  2. 望ましくない動作を引き起こす可能性のある電波妨害も含め、このデバイスであらゆる電波妨害を許容する必要があります。
- (15.21 に準じるデジタル機器のみに該当) 通知: (メーカー名) の明示的な承認なく本機に変更や改良を加えると、本機の操作に対する FCC 認可が無効になります。
- (2.1091/2.1093/OET Bulletin 65 に準じるデジタル機器のみに該当) 無線周波放射ばく露情報:デバイスの放射出力は FCC の無線周波ばく露限度を大きく下回ります。とはいえ、デバイスの使用時は、通常の操作で人体に接触する可能性を最小限に抑える必要があります。
- (レーザー ポインタ付きカメラのみに該当:) レーザー ビームを直視しないでください。レーザー ビームが目の炎症の原因になることがあります。
- バッテリーを装着したカメラのみに該当:
  - バッテリーを分解したり、改造したりしないでください。バッテリーには安全および保護のための部品が構成されており、それが損傷されると、過熱、爆発または発火の原因になります。

- バッテリーの液が漏れて、液体が目に入った場合は、目をこすらないでください。目を水でよくすすぎ、すぐに治療を受けてください。すぐに治療を受けない場合、バッテリー液によって目を損傷することがあります。
  - 指定された充電時間に充電が完了しなかった場合は、充電を継続しないでください。バッテリーの充電を続けると、バッテリーが加熱し、爆発や発火の原因になります。
  - バッテリーの放電には、正しい装置のみを使用してください。正しい装置を使用しないと、バッテリーの性能を落としたり、バッテリーの寿命を縮めてしまうことがあります。正しい装置を使用しないと、不適切な電流がバッテリーに流れてしまうことがあります。これにより、バッテリーが加熱し、爆発で怪我をする可能性があります。
- 液体を使用される前に、該当する MSDS (製品安全データシート) と容器に記載されている警告ラベルをお読みください。液体は取り扱いによっては危険な場合があります。

注意

- レンズカバーを装着しているかどうかを問わず、赤外線カメラを高集中エネルギー源 (例えば、レーザー光線を放射する機器や太陽) に向けないでください。これは、カメラの精度に望ましくない影響を与えることがあります。また、カメラの検出素子を損傷することもあります。
- ユーザー資料により指定されているのではない限り、気温が +50°C 以上の場所でカメラを使用しないでください。気温が高いと、カメラの損傷の原因になることがあります。
- (レーザー ポインタ付きカメラのみに該当:) レーザー ポインタを動作させていないとき、保護キャップでレーザー ポインタを保護してください。
- バッテリーを装着したカメラのみに該当:
  - FLIR Systems 製シガー ライター ソケットにバッテリーを接続するための特別アダプターがない場合、バッテリーを車のシガーライターソケットに直接接続しないでください。
  - バッテリーの陽極と陰極を金属の物体 (ワイヤなど) でつながないでください。
  - バッテリーを水や塩水に付けたり、バッテリーを濡らさないようにしてください。
  - バッテリーに穴を開けないでください。バッテリーをハンマーでたたかないでください。バッテリーを踏んだり、強い衝撃を与えないでください。
  - バッテリーを火の中や近くに置いたり、直射日光に当てないでください。バッテリーが高温になると、組み込みの保護機能が作動し、充電が中止されます。バッテリーが熱くなると、保護機能が破壊され、さらに過熱したり、故障したり、バッテリの発火の原因になります。
  - バッテリーを火の上に置いたり、バッテリを加熱して温度を上げないでください。
  - バッテリーを火、ストーブの上や付近、または高い温度の場所に置かないでください。
  - バッテリーに直接はんだ付けしないでください。
  - バッテリーの使用中、充電中、または保管中に異常なにおいがしたり、熱くなったり、色が変わったり、形が変わったり、または他の異常な状況が見られたときは、バッテリーを使用しないください。これらの問題が見られた場合は、販売店に相談してください。

- バッテリーを充電するときは、指定された充電器のみを使用してください。
- バッテリーを充電できる温度範囲は、ユーザー資料に別途の指定がない限り、±0°C から +45°C です。この範囲外の気温でバッテリーを充電すると、バッテリーが過熱したり故障することがあります。また、バッテリーの性能が低下したり、寿命が縮むことがあります。
- バッテリーを放電できる温度範囲は、ユーザー資料に別途の指定がない限り、−15℃ から +50°C です。この範囲外の気温でバッテリーを使用すると、バッテリーの性能を損ねたり、バッテリーの寿命を縮めてしまうことがあります。
- バッテリーが古くなった場合、処分する前にバッテリーの両極をテープなどで絶縁してください。
- バッテリーを装着する前に、水分や湿気をバッテリーから取り除いてください。

- カメラ、ケーブルおよびその他のアイテムに、溶剤や同様の液体を使用しないでください。損傷の原因になることがあります。
- 赤外線レンズは注意してクリーニングしてください。レンズには、反射防止膜が施されています。
- 赤外線レンズをクリーニングする際は、力を入れ過ぎないでください。これにより反射防止膜が損傷を受けることがあります。
- 炉およびその他の高温アプリケーションでは、カメラに熱シールドを取り付ける必要があります。熱シールドなしで、カメラを炉またはその他の高温のアプリケーションで使用すると、カメラを損傷することがあります。
- (自動シャッターを有効にできるカメラのみに該当)長時間カメラの自動シャッターを無効にしないでください (通常最大 30 分間)。長時間シャッターを無効にしておくと、検出器を破損または修復不能なまで損傷してしまうことがあります。
- 保護構造グレードは、カメラのすべての開口部が指定のカバー、ハッチまたはキャップで閉じられている場合にのみ有効です(これにはデータ ストレージ、バッテリーおよびコネクタ部分を含みませんがこれらに限定されません)。

2 ユーザーへの通知

ユーザー フォーラム

弊社のユーザー フォーラムでは、赤外線分析を行う世界中のユーザーと意見を交換したり、問題や赤外線ソリューションを共有したりすることができます。フォーラムに参加するには、次のサイトを参照してください。

http://www.infraredtraining.com/community/boards/

キャリブレーション

(この注意事項は、測定機能のあるカメラのみに該当します。)

年に一度、カメラをキャリブレーションに出すことをお勧めいたします。カメラの送り先については、お近くの販売店にお問い合わせください。

精度

(この注意事項は、測定機能のあるカメラのみに該当します。)

正確な結果を得るため、カメラの起動後 5 分以上経過してから温度を測定することをお勧めいたします。

検出器がメカニカルクーラーで冷却されるカメラの場合、検出器の冷却にかかる時間はこの時間周期に含まれません。

電気廃棄物の処理

ほとんどの電気製品と同様、この装置は環境にやさしい方法で処理を行う必要があります。また、電気廃棄物に関する既存の規制を順守する必要があります。

詳細については、お近くの FLIR Systems 代理店にお問い合わせください。

トレーニング

赤外線測定のトレーニング情報については、次のサイトを参照してください。

- http://www.infraredtraining.com
- http://www.irtraining.com
- http://www.irtraining.eu

3 ユーザー ヘルプ

一般

カスタマー サポートをお求めの場合は、次のサイトを参照してください。

http://support.flir.com

質問を送信する

ユーザー ヘルプ チームに質問を送信するには、ユーザー登録が必要になります。オンライン登録は数分で完了します。ナレッジベースで既存の質問と回答などを検索するだけであれば、ユーザー登録は不要です。

質問を送信するときは、次の情報を入手していることを確認してください。

- カメラのモデル名
- カメラの製造番号
- カメラと PC 間の通信プロトコルまたは方法 (例えば、HDMI、Ethernet、USB™、または FireWire™)
- ご使用の PC のオペレーティング システム
- Microsoft® Office バージョン
- マニュアルの正式名称、出版番号および改訂番号

ダウンロード

ユーザー ヘルプ サイトでは、以下のものもダウンロードできます。

- 赤外線カメラ用のファームウェア更新
- PC ソフトウェア用のプログラム更新
- ユーザー資料
- 適用事例
- 技術資料

4 文書の更新

一般

取扱説明書は年に数回更新されます。また、製品にとって重要な変更通知も定期的に発行されます。

最新の取扱説明書と通知にアクセスするには、以下のDownloadタブにアクセスしてください。

http://support.flir.com

オンライン登録にはほんの数分しかかかりません。ダウンロードエリアでは、他の製品の取扱説明書の最新版や旧バージョンでサポートが終了した製品の取扱説明書も提供されています。

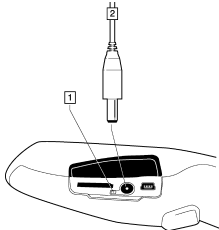
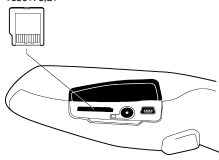
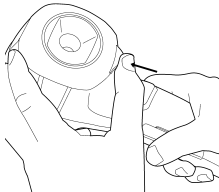
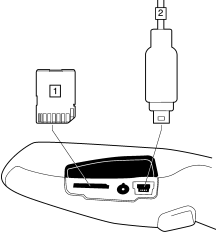
5 このマニュアルについての重要なお知らせ

一般

FLIR Systems は、モデル ラインのいくつかのカメラをカバーした汎用マニュアルを発行しています。

従って、マニュアルの記載や説明が、お使いの特定のカメラには当てはまらない場合もありますので、ご注意ください。

注

FLIR　Systemsは、事前の通知なく、どの時点においてもモデル、ソフトウェア、部品や付属品、およびその他のアイテムを製造中止にしたり、仕様を変更したりする権限を有します。

6 クイック スタート ガイド

手順

すぐにカメラを使い始めるには次の手順に従ってください。

1	LCD の保護フィルムを剥がします。
2	カメラを最初に使用する前に、カメラ内のバッテリーを丸 4 時間 (または、バッテリー充電インジケータが緑色に点灯するまで) 充電する必要があります。 カメラの電源コネクタに電源を接続してバッテリーを充電します。適切な AC プラグを使用してください。 注：工場から出荷したバッテリーを初めて充電する場合、カメラの電源コネクターを電源に接続した後に「カメラをオン・オフにしなければなりません」。この手順はバッテリーの測定を開始するのに必要です。 T630175;a1 **1** バッテリー充電インジケータ **2** 電源ケーブル
3	カード スロットに miniSD™ メモリー カードを差し込みます。 T630176;a1
4	**[オン/オフ]** ボタンを押して、カメラの電源を入れます。
5	レンズ キャップ レバーを押し、レンズ キャップを開きます。 T630177;a2

6	カメラを対象物に向けます。
7	**保存**トリガーを押して画像を保存します。
8	次のいずれかの操作を行って、画像をコンピュータに移動します。 ■ [**(**上記の項目 **1)**] miniSD™ メモリーカードを取り出して、コンピュータに接続されているカード リーダーに挿入します。 miniSD™ カード アダプタは、カメラに同梱されています。 ■ [**(**上記の項目 **2)**] USB™ ミニ B ケーブルを使用して、コンピュータをカメラに接続します。
9	Windows® Explorer で、ドラッグアンドドロップ操作により、カードまたはカメラから画像を移動します。

7 アイテムリスト

7.1 同梱品

- バッテリー (カメラ内部)
- キャリブレーション証明
- パンフレットをダウンロード
- FLIR Tools CD-ROM
- ハンドストラップ
- 輸送用ハードケース (南京錠付き)
- 赤外線カメラ
- 電源/充電器。EU、UK、US、オーストラリア対応プラグ付き
- 入門ガイド（印刷物）
- 重要情報ガイド
- サービスおよびトレーニング パンフレット
- USB ケーブル
- ユーザー マニュアル CD-ROM
- miniSD カード、SD カード アダプタ付き

- 何らかのアイテムが損傷していたり、不足していた場合は、お近くの販売店に連絡してください。このマニュアルの裏表紙にお近くの販売店の住所と電話番号が記載されています。
- FLIR Systems は、事前の通知なく、どの時点においてもモデル、部品や付属品、およびその他のアイテムを製造中止にしたり、仕様を変更したりする権限を有します。

7.2 付属品リスト

- 1910423 USB ケーブル、標準 A - mini-B
- ITC-CER-5101 ITC レベル 1 サーモグラフィ コース - 参加者 1 名
- ITC-CER-5105 ITC レベル 1 サーモグラフィ コース - 体験クラスへの追加生徒 1 名
- ITC-CER-5109 ITC レベル 1 サーモグラフィ コース - グループ 10 名
- ITC-EXP-1001 ITC 1 日トレーニング - 参加者 1 名
- ITC-EXP-1009 ITC 1 日トレーニング - グループ最高 10 名
- ITC-EXP-1011 ITC 短期コース サーモグラフィ入門 - 参加者 1 名 (1 日)
- ITC-EXP-1019 ITC 短期コース サーモグラフィ入門 - 合計 10 名 (1 日)
- ITC-EXP-1021 ITC 社内研修 - 追加参加者 1 名 (1 日当たり)
- ITC-EXP-1029 ITC 社内研修 - グループ最高 10 名 (1 日当たり)
- ITC-EXP-2001 ITC 2 日トレーニング - 参加者 1 名
- ITC-EXP-2009 ITC 2 日トレーニング - グループ最高 10 名
- ITC-EXP-2011 ITC 短期コース建物サーモグラフィ - 参加者 1 名 (2 日)
- ITC-EXP-2019 ITC 短期コース建物サーモグラフィ - 合計 10 名 (2 日)
- ITC-EXP-2041 ITC 短期コース電気サーモグラフィ - 参加者 1 名 (2 日)
- ITC-EXP-2049 ITC 短期コース電気サーモグラフィ - 合計 10 名 (2 日)

- ITC-EXP-2061 ITC 短期コース HVAC と配管系統 - 参加者 1 名 (2 日)
- ITC-EXP-2069 ITC 短期コース HVAC と配管系統 - グループ最高 10 名 (2 日)
- ITC-EXP-3001 ITC 3 日トレーニング - 参加者 1 名
- ITC-EXP-3009 ITC 3 日トレーニング - グループ最高 10 名
- ITC-PRA-2011 ITC 実践コース - ソーラー パネルの点検 - 参加者 1 名 (2 日)
- ITC-PRA-2019 ITC 実践コース - ソーラー パネルの点検 - グループ 最高 10 名 (2 日)
- ITC-SOW-0001 ITC ソフトウェア コース - 参加者 1 名 (1 日当たり)
- ITC-SOW-0009 ITC ソフトウェア コース - グループ最高 10 名 (1 日当たり)
- T126024 ポーチ
- T197410 バッテリー
- T197619 ix 用輸送用ハードケース
- T197717 FLIR Reporter 8.5 SP3、Professional
- T197717L10 FLIR Reporter 8.5 SP3、Professional (ユーザー ライセンス x 10)
- T197717L5 FLIR Reporter 8.5 SP3、Professional (ユーザー ライセンス x 5)
- T197778 FLIR BuildIR 2.1
- T197778L10 FLIR BuildIR 2.1 (ユーザー ライセンス x 10)
- T197778L5 FLIR BuildIR 2.1 (ユーザー ライセンス x 5)
- T199806 ix シリーズ 1 年間延長保証
- T199833 ix シリーズ一般メンテナンス
- T910711 電源/充電器。EU、UK、US、AU プラグ付き
- T910737 メモリー カード マイクロ SD アダプタ付き

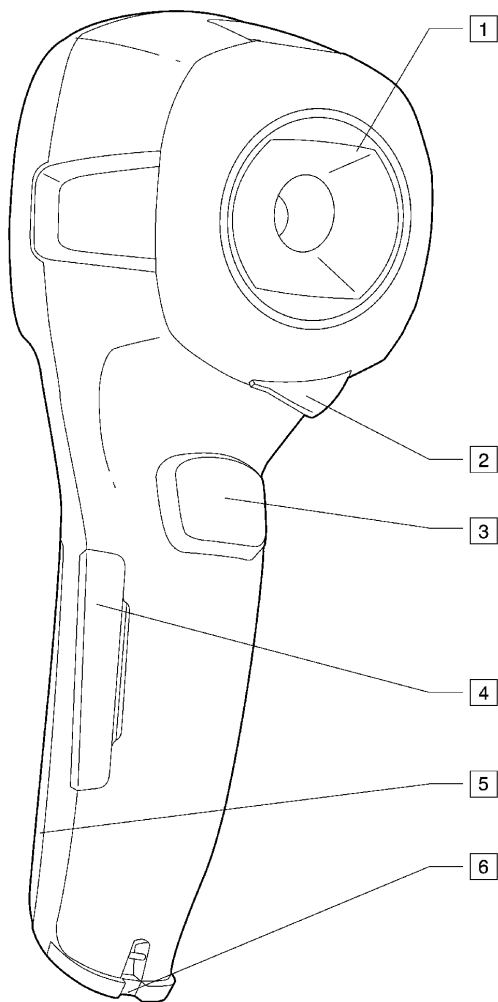
- 何らかのアイテムが損傷していたり、不足していた場合は、お近くの販売店に連絡してください。このマニュアルの裏表紙にお近くの販売店の住所と電話番号が記載されています。
- FLIR Systems は、事前の通知なく、どの時点においてもモデル、部品や付属品、およびその他のアイテムを製造中止にしたり、仕様を変更したりする権限を有します。

---

8 カメラ部品

図

10780903;a2

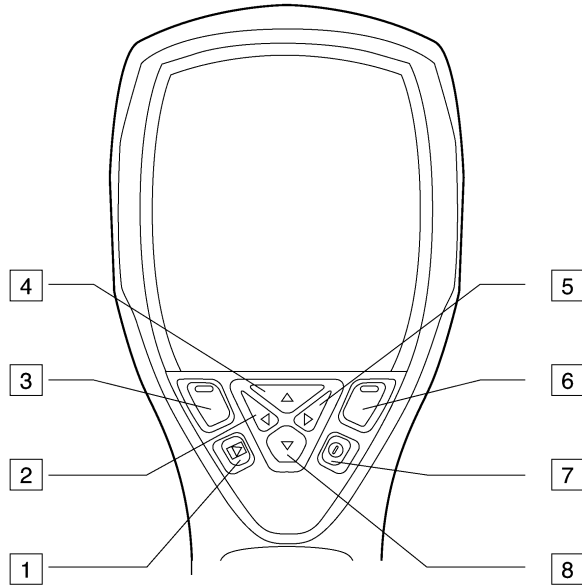
説明

この表は、上の図についての説明です。

1	赤外線レンズ

2	レンズ キャップの開閉用レバー
3	画像保存用トリガー
4	コネクタおよび miniSD™ メモリー カード スロット用カバー
5	バッテリー ケース用カバー
6	ハンド ストラップのカメラへの取り付け位置

図

10781003;a2

説明

この表は、上の図についての説明です。

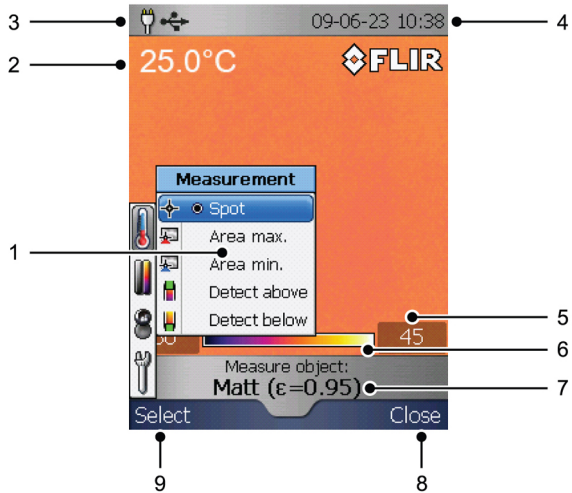
1	**[アーカイブ]** ボタン 機能:ボタンを押すと、画像アーカイブが開きます。
2	左矢印ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで左に移動できます。 ■ ボタンを押すと、画像アーカイブ内でナビゲートできます。
3	左選択ボタン。このボタンは状況依存であり、現在の機能は画面のボタン上に表示されます。
4	上矢印ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで上に移動できます。 ■ ([**Archive**] ボタンを押した後で) これを押すと、画像アーカイブが開きます。 ■ ボタンを押すと、値が減少/変化します。

5	右矢印ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで右に移動できます。 ■ ボタンを押すと、画像アーカイブ内でナビゲートできます。
6	右選択ボタン。このボタンは状況依存であり、現在の機能は画面のボタン上に表示されます。
7	**[オン/オフ]** ボタン 機能: ■ ボタンを押すと、カメラの電源が入ります。 ■ 1 秒以上押し続けると、カメラの電源が切れます。
8	下矢印ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで下に移動できます。 ■ ボタンを押すと、値が減少/変化します。

9 画面要素

図

10781203;a4

説明

この表は、上の図についての説明です。

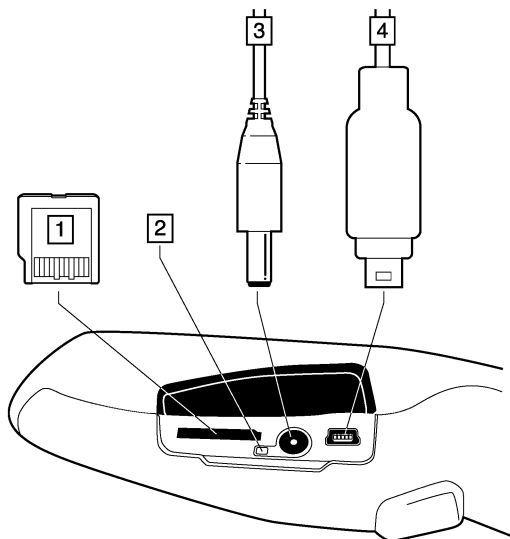
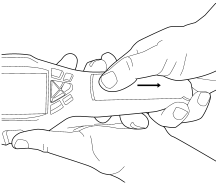
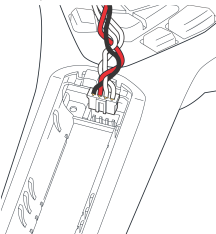
<table>
<tr><td>1</td><td>メニュー システム</td></tr>
<tr><td>2</td><td>検索結果</td></tr>
<tr><td>3</td><td>電源インジケーター
<table>
<tr><th>アイコン</th><th>意味</th></tr>
<tr><td>(バッテリー アイコン)</td><td>次のいずれかです。
■ カメラの電源はバッテリーからとられています。
■ バッテリー充電中です (バッテリー充電のアニメーションが使用されます)。</td></tr>
<tr><td>(電源プラグ アイコン)</td><td>バッテリーは完全に充電されており、カメラの電源は電源ケーブルからとられています。</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>4</td><td>日時</td></tr>
<tr><td>5</td><td>温度スケールの制限値</td></tr>
</table>

6	温度スケール
7	現在設定されている放射率の値または材料の特性
8	右選択ボタンの現在の機能
9	左選択ボタンの現在の機能

10 コネクタおよび記憶メディア

図

10780803;a1

説明

この表は、上の図についての説明です。

1	miniSD™ メモリー カード miniSD™ メモリー カードに保存する画像数は 5,000 枚以内にすることをお勧めします。 メモリー カードに 5,000 枚以上の画像を保存する容量があっても、これ以上の画像を保存すると、miniSD™ メモリー カードのファイル管理機能の処理速度が大幅に低下します。 注**:** miniSD™ メモリー カードの記憶サイズには上限はありません。
2	バッテリー充電インジケータ: ■ 点灯せず: 電源が接続されていません。 ■ .オレンジライト：バッテリーは充電中です。 ■ 緑色が点灯: バッテリーの充電が完了しています。
3	電源ケーブル
4	USB ケーブル (USB Mini-B コネクタ付き)

11 カメラを使用する

11.1 バッテリーの装着

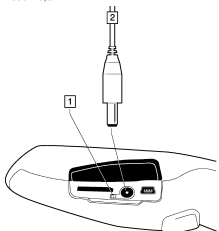
手順

バッテリーを装着するときは、次の手順に従います。

1	バッテリー ケースのカバーを取り外します。 T630174;a2
2	バッテリー ケース内部のコネクタに、バッテリーに接続されたケーブルを接続します。 注**:** この作業中は導電ツールを使用しないでください。 T630173;a2
3	ケースにバッテリーを押し込みます。
4	カバーを元に戻し、バッテリー ケースを閉めます。

11.2 バッテリーの充電

注

- カメラを最初に使用する前に、カメラ内のバッテリーを丸4時間(または、バッテリーインジケータが緑色に点灯するまで)充電する必要があります。
- 工場から出荷したバッテリーを初めて充電する場合、カメラの電源コネクターを電源に接続した後に「カメラをオン・オフにしなければなりません」。この手順はバッテリーの測定を開始するのに必要です。
- バッテリーを頻繁に交換しないでください。バッテリーが磨耗したときのみ、交換してください。

バッテリー充電インジケータについて

バッテリー充電インジケータとは、電源コネクタの横にある LED です。次のような信号を表示します。

- 点灯せず: 電源が接続されていません。
- .オレンジライト：バッテリーは充電中です。
- 緑色が点灯: バッテリーの充電が完了しています。

手順

この手順に従って、バッテリーを充電してください。

1	カメラの電源コネクタに電源ケーブルを接続します。 T630175;a1 1 2 **1** バッテリー充電インジケータ **2** 電源ケーブル
2	電源メイン電気プラグをメイン ソケットに接続します。適切な AC プラグを使用してください。
3	バッテリー充電インジケータが緑色に点灯したら、電源ケーブル プラグを取り外します。

11.3 画像の保存

一般

miniSD™ メモリー カードに、複数の画像を保存できます。

画像容量

miniSD™ メモリー カードに保存する画像数は 5,000 枚以内にすることをお勧めします。

メモリー カードに 5,000 枚以上の画像を保存する容量があっても、これ以上の画像を保存すると、メモリー カードのファイル管理機能の処理速度が大幅に低下します。

注: miniSD™ メモリー カードの記憶サイズには上限はありません。

メモリ カードのフォーマット

性能を最大限に高めるために、メモリー カードは FAT (FAT16) ファイル システムにフォーマットする必要があります。FAT32 フォーマットのメモリー カードを使用すると、性能が低下します。メモリー カードを FAT (FAT16) にフォーマットするには、次の手順に従います。

1	メモリー カードを、コンピュータに接続されているカード リーダーに挿入します。
2	Windows® エクスプローラで、[**マイ コンピュータ**] を選択し、メモリー カードを右クリックします。
3	[**Format (形式)**] を選択します。
4	[**File system (ファイル システム)**] で、[FAT] を選択します。
5	[**スタート**] をクリックします。

命名規則

画像の命名規則は IR_xxxx.jpg となります。ここで、xxxx は一意のカウンタです。**復元** を選択すると、カメラによりカウンタがリセットされ、1 つ上の未使用ファイル名が新しいファイルに割り当てられます。

手順

画像を保存するには、**保存**トリガーを押します。

11.4 画像の呼び出し

一般

画像を保存するとき、画像は取り出し可能な miniSD™ メモリー カードに保存されます。もう一度画像を表示するには、miniSD™ メモリー カードから画像を呼び出すことができます。

手順

この手順に従って、画像を呼び出します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	以下のいずれかを実行してください： ■ ナビゲーション パッドの左ボタンまたは右ボタンを押して、表示する画像を選択します。 ■ 上矢印ボタンを押し、ナビゲーション パッドを使用して表示する画像を選択し、右選択ボタン ([**開く**]) を押します。
3	ライブ モードに戻るには、次のいずれかの操作を行います。 ■ **[アーカイブ]** ボタンを押します。 ■ 右選択ボタン (**クローズ**) を押します。

11.5 画像アーカイブを開く

一般

画像アーカイブとは、miniSD™ メモリー カード内の全画像をサムネイル表示するギャラリーです。

手順

この手順に従って、画像アーカイブを開きます。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	ナビゲーション パッドで上矢印ボタンを押します。 これにより、画像アーカイブが表示されます。ナビゲーション パッドを使用して、アーカイブ内をナビゲートします。
3	選択した画像を開くには、右選択ボタン (**開く**) を押します。

11.6　画像を削除する

一般

miniSD™ メモリー カードで、1 つまたは複数の画像を削除できます。

方法 1

この手順に従って、画像を削除します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	上矢印ボタンを押します。これにより、画像アーカイブが表示されます。
3	削除したい画像をナビゲーション パッドを使用して選択します。
4	左選択ボタン (**オプション**) を押します。
5	ナビゲーション パッドを使用して **画像削除** を選択します。
6	左選択ボタン (**選択**) を押します。
7	右選択ボタンを押して確定します (**削除**)。
8	ライブ モードに戻るには、次のいずれかの操作を行います。 ■ **[アーカイブ]** ボタンを押します。 ■ 右選択ボタン (**クローズ**) を押します。

方法 2

この手順に従って、画像を削除します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	削除したい画像をナビゲーション パッドを使用して選択します。
3	左選択ボタン (**削除**) を押します。
4	右選択ボタンを押して確定します (**削除**)。
5	ライブ モードに戻るには、次のいずれかの操作を行います。 ■ **[アーカイブ]** ボタンを押します。 ■ 右選択ボタン (**クローズ**) を押します。

11.7 すべての画像の削除

一般

miniSD™ メモリー カードからすべての画像を削除できます。

手順

この手順に従って、すべての画像を削除します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	上矢印ボタンを押します。これにより、画像アーカイブが表示されます
3	左選択ボタン (**オプション**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して **全画像削除** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。
6	右選択ボタンを押して確定します (**削除**)。

11.8 スポットメーターを使用して温度を測定する

一般

スポットメーターを使用して温度を測定することができます。これにより、画面上でスポットメーターがある位置の温度が表示されます。

手順

この手順に従ってください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **[測定]** を選択します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して **[スポット]** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。 スポットメーターがある位置の温度は、画面の左上隅に表示されます。

11.9 エリアを使用して温度を測定する

一般

継続的にカーソルを移動させて、エリア内の最高温度または最低温度を継続的に表示することができます。

手順

この手順に従ってください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **[測定]** を選択します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して、次のいずれかを行います。 ■ **エリア最高** ■ **エリア最低**
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。 カーソルを継続的に移動することで、エリア内の最高温度または最低温度が表示されるようになりました。 温度は画面の左上にも表示されます。

11.10 設定された温度レベルを上回る/下回るすべてのエリアをマーキングする

一般

設定された温度レベルを上回る/下回るすべてのエリアをマーキングすることができます。

手順

この手順に従ってください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **[測定]** を選択します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して、次のいずれかを行います。 ■ **Detect above (上を検出)** ■ **Detect below (下を検出)**
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。
6	この値を上回るか下回るとマーキングされる温度レベルを変更するには、ナビゲーション パッドを使用します。

11.11 色パレットを変更する

一般

カメラが異なる温度表示するのに使用するカラー パレットを変更することができます。異なるパレットを使用することによって、画像の分析が容易になります。

手順

この手順に従って、色パレットを変更してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **色パレット** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**色パレット** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して色パレットを選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、サブメニューを終了します。

11.12　カメラ設定を変更する

一般

カメラの各種設定を変更できます。変更できる設定には、次のようなものがあります。

- **自動シャットダウン**
- **画面輝度**
- **言語**
- **単位**
- **時刻の形式**
- **時間設定**
- **タイムスタンプ**
- **ファームウェア** (カメラのプログラム アップデートをダウンロードします。詳細は http://flir.custhelp.com を参照してください。)
- **復元**

手順

この手順に従って、設定を変更してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **設定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**設定** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して、変更する設定を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押し、ナビゲーション パッドを使用して新しい設定を選択します。
6	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、サブメニューを終了します。または、右選択ボタン (**クローズ**) を押してメニューを終了します。

11.13 画像モードの変更

一般

カメラは次の 2 種類の画像モードで操作できます。

画像モード	アイコン	説明
自動	なし	**自動**モードでは、カメラは継続的に自動調整され、画像の明るさとコントラストが最高の状態になります。
ロック		**ロック** モードでは、温度スパンと温度レベルがロックされます。

ロック モードが適する場合

ロック モードの使用に適した状況としては、デザインまたは構成が似ている 2 つの対象物で温度に異常がないか見つける場合があります。

たとえば、2つのケーブルのうち一方が過熱している疑いがある場合、**ロック**モードを使用すると、片方が過熱していることが明確にわかります。このケーブルの方が温度が高いことから、*温度の高い方がより薄い*色で示されます。

もし**自動**モードを使用すると、2つの対象物は同じ温度であるように表示されます。

手順

ボタンを押して、**自動**モードと**ロック**モードを切り替えるには、右選択ボタン (**手動**/**ロック**) を押します。南京錠のアイコン ( ) は、ロック モードを示します。

11.14 表面特性の設定

一般

温度を正確に計測するためには、測定対象の表面がどのようなものであるかカメラに知らせる必要があります。

一番簡単な方法は、**測定** メニューで表面の特性を設定することです。次のいずれかの表面特性から選択できます。

- **マット**
- **半マット**
- **半光沢ト**
- **光沢**

手順

この手順に従って、表面特性を設定してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **測定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**測定** サブメニューが表示されます。
4	**測定** メニューで、ナビゲーション パッドを使用して表面特性を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、メニューを終了します。

関連項目

より正確に計測するには、次の項を参照してください。

- 33 ページの「11.15 – 放射率の変更」のセクション
- 34 ページの「11.16 – 反射見かけ温度の変更」のセクション

11.15 放射率の変更

一般

非常に精密に計測したい場合は、表面特性を選択するのではなく、放射率を設定する必要があります。また、表面特性を選択するだけではなく、放射率と反射率が測定結果にどのような影響を与えるのかを理解する必要があります。

放射率とは、対象物で反射されるエネルギーではなく、オブジェクトから放射されるエネルギーを示す特性です。この値が低い場合、反射によるエネルギーが大部分を占めますが、値が高い場合は、反射によるエネルギーの比率は低くなります。

たとえば、よく磨いたステンレス鋼の放射率は 0.14 で、構造 PVC 床の一般的な放射率は 0.93 です。

手順

この手順に従って、放射率を設定してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **測定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**測定** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して **アドバンスド** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**アドバンスド** サブメニューが表示されます。
6	ナビゲーション パッドを使用して、次のいずれかを行います。 ■ 放射率の値を設定する。 ■ 材料のリストから材料を選択する。
7	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、メニューを終了します。

関連項目

放射率の詳細については、59 ページにある「18 – 熱測定技術」のセクションを参照してください。

11.16 反射見かけ温度の変更

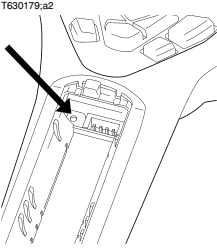
一般

このパラメータは、物体が反射する放射を補正するために使用されます。放射率が低く、物体の温度が反射温度と比較的大きく異なっている場合、反射温度を正しく設定し、反射見かけ温度を正しく補正することが重要です。

手順

この手順に従って、反射見かけ温度を設定してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **測定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**測定** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して **アドバンスド** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**アドバンスド** サブメニューが表示されます。
6	ナビゲーション パッドを使用して反射見かけ温度を設定します。
7	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、メニューを終了します。

関連項目

反射見かけ温度の詳細については、59 ページにある「18 – 熱測定技術」のセクションを参照してください。

11.17 カメラのリセット

一般

カメラをリセットする必要がある場合、バッテリー ケース内部にリセット ボタンがあります。

注

カメラのリセット操作では、金属やその他の導電ツールを使用しないでください。

手順

この手順に従って、カメラをリセットします。

1	バッテリー ケースのカバーを開きます。
2	リセット ボタンの場所は、次の図で確認できます。 T630179;a2
3	導電性のないツールを使用してリセットボタンを押してください。 カメラはリセットされます。

11.18 カメラのシリアル番号を見つける

一般

サービス部門と連絡を取るときに、カメラのシリアル番号を聞かれる場合があります。

シリアル番号はバッテリー ケース内でバッテリーの裏にあるラベルに記載されています。

12 カメラのクリーニング

12.1 カメラの筐体、ケーブルおよびその他のアイテム

液体

以下のいずれかの液体を使用してください。

- 温水
- 弱清浄液

備品

柔らかい布

手順

この手順に従ってください。

1	液体に布を浸す。
2	布を絞って余分の水分を落とす。
3	布で拭いてきれいにする。

注意

カメラ、ケーブルおよびその他のアイテムに、溶剤や同様の液体を使用しないでください。損傷の原因になることがあります。

12.2 赤外線レンズ

液体

以下のいずれかの液体を使用してください。

- 96% イソプロピル アルコール。
- 30% 以上のイソプロピルアルコールを使用している市販のレンズクリーニング液。

備品

脱脂綿

手順

この手順に従ってください。

1	液体に脱脂綿を浸す。
2	脱脂綿を絞って余分の水分を落とす。
3	一度のみレンズを拭き、脱脂綿を捨てる。

警告

液体を使用される前に、該当する MSDS (製品安全データシート) と容器に記載されている警告ラベルをお読みください。液体は取り扱いによっては危険な場合があります。

注意

- 赤外線レンズは注意してクリーニングしてください。レンズには、反射防止膜が施されています。
- 赤外線レンズをクリーニングする際は、力を入れ過ぎないでください。これにより反射防止膜が損傷を受けることがあります。

12.3 赤外線検出器

一般

赤外線検出器に僅かでも埃が付着していると、画像に大きな汚れが付いてしまう可能性があります。検出器から埃を取り除くには、以下の手順に従ってください。

注

- このセクションは、レンズを取り外すと赤外線検出器が露出されるカメラに対してのみ適用されます。
- 以下の手順を行っても埃を取り除くことができない場合、赤外線検出器を機械的にクリーニングする必要があります。この機械的クリーニングは、認証サービス パートナーによって実行される必要があります。

注意

以下の手順2で、ワークショップ内の空気圧エア回路の圧縮エアなどを使用しないでください。これらのエアには通常、空気動力工具を潤滑油をさすためのオイルミストが含まれています。

手順

この手順に従ってください。

1	カメラからレンズを外します。
2	圧縮エアで埃を吹き飛ばします。

13 技術的なデータ

技術的なデータについては、カメラに付属するユーザー マニュアル CD-ROM に格納されたデータシートを参照してください。技術的なデータは、「http://support.flir.com」でも参照できます。

13.1 追加データ

視野および距離 (FLIR i3)

10780503;a2

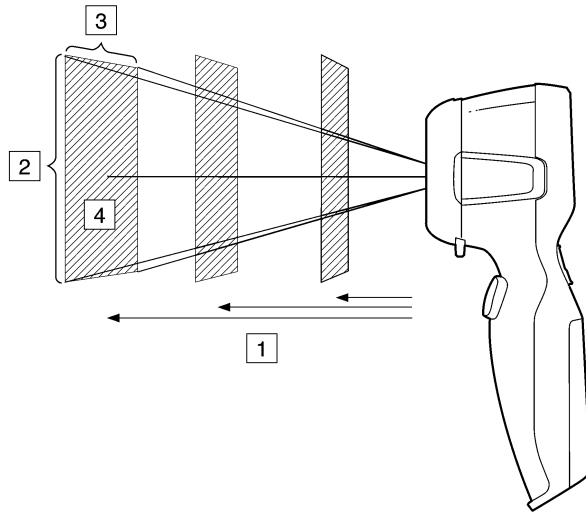



図 **13.1** 視野と距離の関係を示します。**1:** 対象までの距離。 **2:** VFOV = 垂直方向の視野。**3:** HFOV = 水平方向の視野、**4:** IFOV = 瞬間視野 (各検出器要素のサイズ)。

この表は、対象までの様々な距離に対応するレンズ視野の例です。 注**:** この表は、最小フォーカス距離を考慮していません。

T639295;a2

Focal length: 6.76 mm								
Resolution: 60 x 60 pixels								
Field of view in degrees: 12.6								
D --->	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**5.00**	**10.00**	**25.00**	**50.00**	**100.00**	**m**
HFOV	0.11	0.22	0.44	1.11	2.22	5.55	11.09	22.19	**m**
VFOV	0.11	0.22	0.44	1.11	2.22	5.55	11.09	22.19	**m**
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	**mm**
D --->	**1.64**	**3.28**	**6.56**	**16.39**	**32.79**	**81.97**	**163.93**	**327.87**	**ft.**
HFOV	0.36	0.73	1.46	3.64	7.28	18.19	36.38	72.75	**ft.**
VFOV	0.36	0.73	1.46	3.64	7.28	18.19	36.38	72.75	**ft.**
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	**in.**
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

視野および距離 (FLIR i5)

10780503;a2

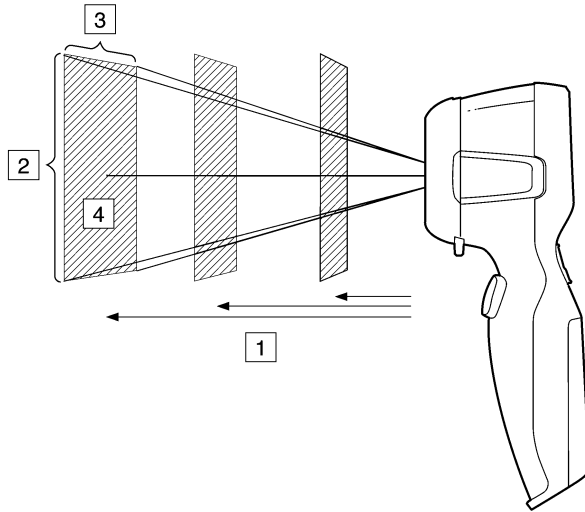



図 **13.2** 視野と距離の関係を示します。**1:** 対象までの距離。 **2:** VFOV = 垂直方向の視野。**3:** HFOV = 水平方向の視野、**4:** IFOV = 瞬間視野 (各検出器要素のサイズ)。

この表は、対象までの様々な距離に対応するレンズ視野の例です。 注**:** この表は、最小フォーカス距離を考慮していません。

10781103;a3

Focal length: 6.76 mm									
Resolution: 100 x 100 pixels									
Field of view in degrees: 20.9									
D --->	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**5.00**	**10.00**	**25.00**	**50.00**	**100.00**	**m**
HFOV	0.18	0.37	0.74	1.85	3.70	9.25	18.49	36.98	**m**
VFOV	0.18	0.37	0.74	1.85	3.70	9.25	18.49	36.98	**m**
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	**mm**
D --->	**1.64**	**3.28**	**6.56**	**16.39**	**32.79**	**81.97**	**163.93**	**327.87**	**ft.**
HFOV	0.61	1.21	2.43	6.06	12.13	30.31	60.63	121.25	**ft.**
VFOV	0.61	1.21	2.43	6.06	12.13	30.31	60.63	121.25	**ft.**
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	**in.**
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

視野および距離 (FLIR i7)

10780503;a2

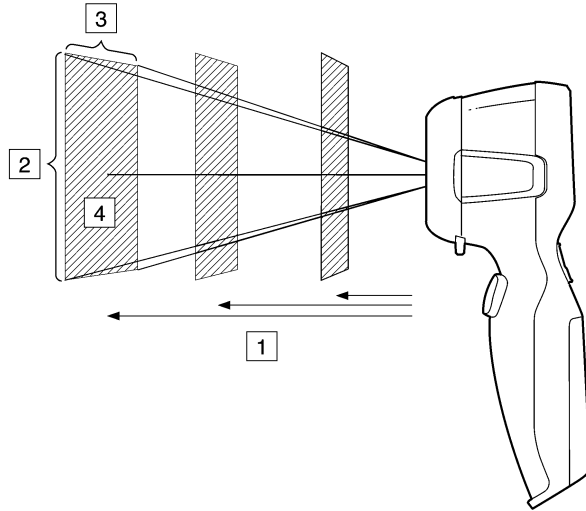



図 **13.3** 視野と距離の関係を示します。**1:** 対象までの距離。 **2:** VFOV = 垂直方向の視野。**3:** HFOV = 水平方向の視野、**4:** IFOV = 瞬間視野 (各検出器要素のサイズ)。

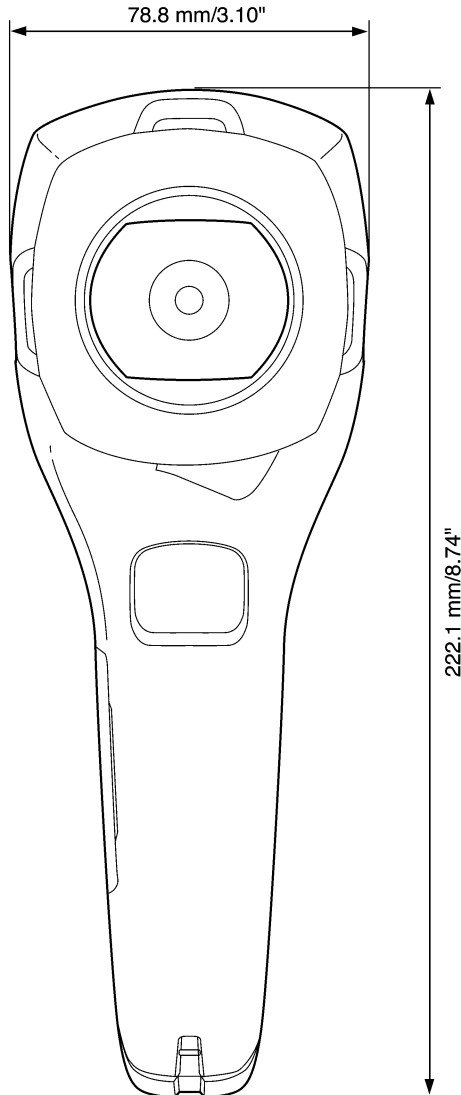
この表は、対象までの様々な距離に対応するレンズ視野の例です。 注**:** この表は、最小フォーカス距離を考慮していません。

T638201;a3

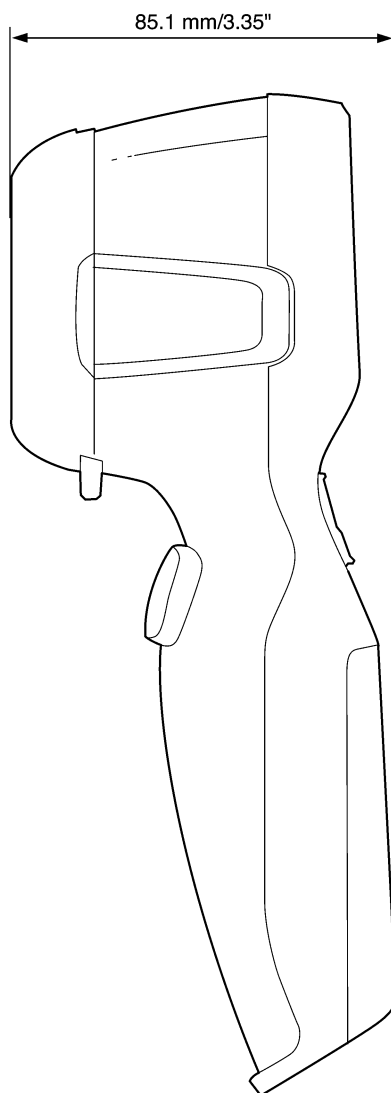
Focal length: 6.76 mm									
Resolution: 140 x 140 pixels									
Field of view in degrees: 29.0									
D --->	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**5.00**	**10.00**	**25.00**	**50.00**	**100.00**	**m**
HFOV	0.26	0.52	1.04	2.59	5.18	12.94	25.89	51.78	**m**
VFOV	0.26	0.52	1.04	2.59	5.18	12.94	25.89	51.78	**m**
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	**mm**
D --->	**1.64**	**3.28**	**6.56**	**16.39**	**32.79**	**81.97**	**163.93**	**327.87**	**ft.**
HFOV	0.85	1.70	3.40	8.49	16.98	42.44	84.88	169.75	**ft.**
VFOV	0.85	1.70	3.40	8.49	16.98	42.44	84.88	169.75	**ft.**
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	**in.**
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

14 寸法

14.1 カメラ (正面)

図 10780603;a2

14.2 カメラ (側面)

図

10780703;a2

15 適用例

15.1 *湿気および水による損傷*

一般

赤外線カメラを使用して、家の湿気および水による損傷を検出することができます。この理由としては、損傷を受けたエリアの熱伝導容量特性が異なること、および周囲の材料と熱の保有容量が異なることによります。

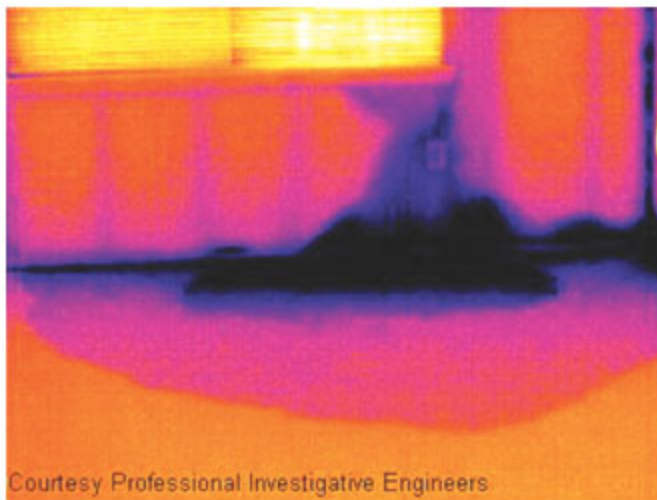
注

湿気および水による損傷の熱画像への表示方法には、多くの要素が関係しています。

例えば、材料および一日のうちの何時かによって、これらの部分の温度上昇や温度低下の程度が異なります。このため、湿気や水による損傷の検査を行うときに、別の方法も使用することが重要です。

図

以下の画像は、出窓の設置が正しくなかったために水が壁に浸透し、外壁が広範囲に水による損傷を受けている例を示しています。

10739503;a1

15.2 ソケットの不完全な接続

一般

ソケットの接続タイプにより、不適切に接続されたワイヤがローカル温度の上昇を招くことがあります。引き込みワイヤとソケットの接続ポイントの接触部分が減るために温度が上昇し、漏電による火事の原因になることがあります。

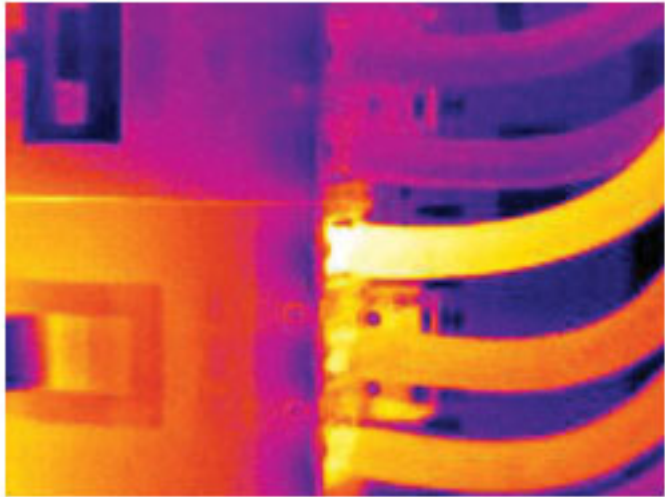
注

製造業者によって、ソケットの構造は大きく異なります。このため、ソケットの違いが原因で、赤外線画像で共通する典型的な外観になります。

ワイヤとソケットの不完全な接続や抵抗の相違によって、ローカル温度が上昇することもあります。

図

以下の画像は、ケーブルとソケットの不完全な接続が原因で、ローカル温度が上昇していることを示しています。

10739603;a1

15.3 酸化したソケット

一般

ソケット タイプおよび設置されたソケットの環境によって、ソケットの接続面に酸化が発生することがあります。ソケットに接続されると、これらの酸化によって抵抗が上昇し、赤外線画像で温度上昇して見えます。

注

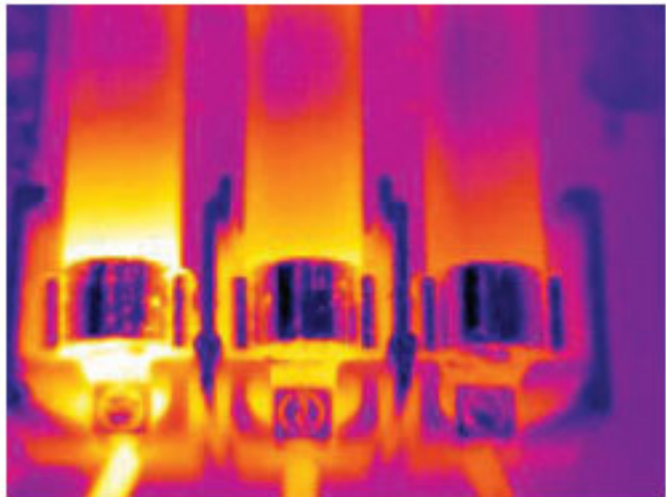
製造業者によって、ソケットの構造は大きく異なります。このため、ソケットの違いが原因で、赤外線画像で共通する典型的な外観になります。

ワイヤとソケットの不完全な接続や抵抗の相違によって、ローカル温度が上昇することもあります。

図

次の画像は、1 つのヒューズがヒューズ ホルダーの接続面の温度が上昇している一連のヒューズが表示されます。ヒューズ ホルダーの空間材料のため、温度上昇はここでは目には見えませんが、ヒューズのセラミック材料で見えます。

10739703;a1

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

15.4 断熱材の損傷

一般

断熱材損傷は、壁枠の空洞が確実に閉じられていないために時間の経過につれて、断熱材が損傷するために発生します。

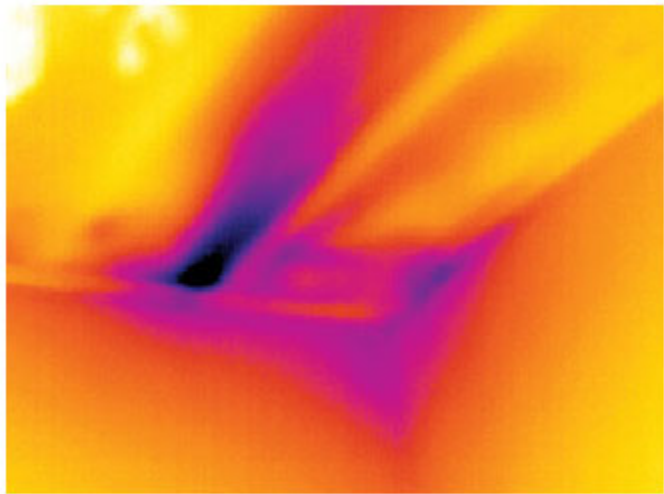
断熱材損傷が発生している箇所は、正しく設置されている箇所に比べて熱伝導率特性が異なるため、また建物枠に空気が入り込んでいる部分が表示されるため、赤外線カメラで断熱材損傷を検出することができます。

注

建物の検査をするとき、建物内と外の温度差が少なくとも 10°C になるようにしてください。びょう、水道管、コンクリート柱および同様の構成要素は、赤外線画像では断熱材損傷として表示されます。小さな誤差が自然に発生してしまうこともあります。

図

以下の画像では、平らな屋根で断熱が不足しています。断熱が不十分なため、空気が平らな屋根に入り込んでしまい、赤外線画像で典型的な外観になっています。

10739803;a1

15.5 隙間風

一般

隙間風は、すそ板、ドアや窓枠の周囲、および天井の飾りの上に発生することがあります。この種の隙間風は赤外線カメラで表示できます。冷たい風が周囲を冷却している状態で表示されます。

注

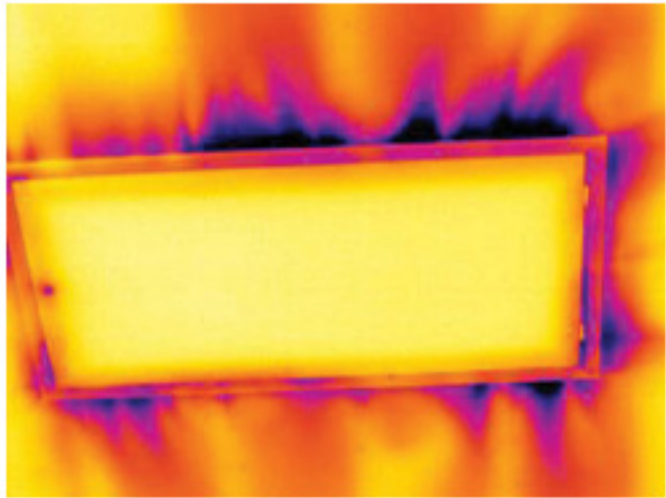
家の隙間風を調査するとき、室内が準常圧である必要があります。すべてのドア、窓、換気口を閉じ、台所のファンを赤外線画像の撮影前と撮影中に動作させておきます。

隙間風の赤外線画像は、典型的なストリーム パターンで表示されます。以下の画像では、このストリーム パターンをはっきり見ることができます。

床暖房回路からの熱のために、隙間風の効果が隠れてしまうことがあることに留意してください。

図

以下の画像では、取り付けの不完全な天井のハッチが、強い隙間風の原因になっていることを示しています。

10739903;a1

16 FLIR Systems 情報

FLIR Systemsは、高性能の赤外線イメージングシステム開発のパイオニアとして1978年に創立され、商業、工業、官庁用のさまざまなアプリケーションに応じたサーマルイメージングシステムのデザイン、製造、販売で世界をリードしています。現在、FLIR Systemsには1958年以来赤外線技術ですぐれた業績をあげている5つの大きな会社が統合されています - スウェーデンのAGEMA Infrared Systems (旧社名 AGA Infrared Systems)、米国の3つの会社 Indigo Systems、FSI、Inframetrics、およびフランスのCedip社です。 2007年11月には、Extech InstrumentsがFLIR Systemsに買収されました。

T638608;a1

PATENT SPECIFICATION

DRAWINGS ATTACHED

Inventors: PER JOHAN LINDBERG and HANS GUNNER MALMBERG

1,057,624

Date of Application and filing Complete Specification: Nov. 15, 1963.

No. 45167/63.

Complete Specification Published: Feb. 1, 1967.

© Crown Copyright 1967.

Index at acceptance:—H4 F6H

Int. Cl.:—H 04 n 3/06

COMPLETE SPECIFICATION

Scanning Mechanism

We, AGA AKTIEBOLAG, formerly Svenska Aktiebolaget Gasaccumulator, of Lidingö, Sweden, a Swedish Company, do hereby declare the invention, for which we pray that a patent may be granted to us, and the method by which it is to be performed, to be particularly described in and by the following statement:—

This invention relates to scanning mechanisms and in particular to such mechanisms whereby electro-magnetic radiation is picked-up and applied thereby to radiation-responsive means from which values measured by the radiation-responsive means can be studied.

It is an object of the present invention to provide an improved scanning mechanism of the character indicated.

It is a further object of the present invention to provide improved scanning mechanism for continuously and automatically scanning a field of view for ascertaining the energy levels in such field.

It is a still further object of the present invention to provide a scanning mechanism for rapid scanning of a field.

A still further object of the present invention is to provide a scanning mechanism whereby, for continuous scanning, the retrace time is a relatively small value.

According to the present invention there is provided a scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation within the optical, infra-red or ultra violet regions of the electromagnetic spectrum which includes a refracting prism adapted to be rotated about its longitudinal axis the end faces of the prism being polygons, each of which polygon has an even number of sides, of which opposite sides are parallel; a collecting refractive system having an image surface within the prism the axis of which system intersects the longitudinal axis of the prism; an aperture situated substantially on the axis of the collecting refractive system through which radiation passing through the prism can pass and a radiation responsive element behind said aperture for picking up such radiation.

Other objects and features of the present invention will be apparent from the following description given by way of example only and with reference to the accompanying diagrammatic drawings, in which:—

Fig. 1 is a side view of a scanning prism and illustrates the deflection of rays of electromagnetic radiation by the prism and the focussing of the rays at a fixed scanning aperture.

Fig. 2 graphically illustrates the scanning deflection as a function of the angle of rotation for various refractive indices of the prism.

Fig. 3 is a view showing the paraxial image surface for rays in two perpendicular planes for different indices of refraction of the prism.

The scanning mechanism of the present invention is particularly applicable to receiving electromagnetic radiation within the optical, ultra violet or infra-red regions of the electromagnetic spectrum, the incoming radiation being focused on a radiation-responsive element, which may be of a kind well known in the art and as such is not shown in the drawings.

Hitherto the main difficulty in achieving high scanning speeds has been of a mechanical nature. The present invention uses a rotating refractive prism for fast scanning in one direction; scanning perpendicular to this direction is slower and can be accomplished by other means, for example as by an oscillating mirror in the collecting optics. This slower scanning can also be accomplished by tilting the rotating axis of the prism. This

[*Pri*

United States Patent Office 3,253,498 Patented May 31, 1966

1

3,253,498
SCANNING MECHANISM FOR ELECTRO-MAGNETIC RADIATION
Per Johan Lindberg, Stockholm, and Hans Gunnar Malmberg, Solna, Sweden, assignors to AGA Aktiebolaget, a corporation of Sweden
Filed May 14, 1962, Ser. No. 194,622
Claims priority, application Sweden, May 19, 1961, 5,299/61
2 Claims. (Cl. 88—1)

This invention relates to an improved optical-scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation and to radiation-responsive means utilizing such optical scanning.

It is an object of the invention to provide improved optical-scanning means of the character indicated.

It is another object of the invention to provide improved means for continuously and automatically scanning of a field of view for ascertaining energy levels in such field.

It is a further object of the invention to provide means for optical-scanning of said field of view many times per second.

A further specific object is to provide means for more accurate and efficient scanning of a field of view, the "dead" or nonutilized scanning time being reduced to a small value.

Other objects and various further features of novelty and invention will be pointed out or will occur to those skilled in the art from a reading of the following specification, in conjunction with the accompanying drawings. Said drawings show the principle of the invention.

FIG. 1 is a side view of a scanning prism showing the deflected rays in said prism and the necessary image surface for proper focussing at the fixed scanning aperture,

FIG. 2 is a diagram, which shows the scanning deflection as a function of the rotating angle of the prism for various indices of refraction of said prism,

FIG. 3 is a view showing said paraxial image surface for rays in two mutually perpendicular planes for different indices of refraction of said prism,

FIG. 4 is a side view showing the essential components of a complete scanning mechanism, and

FIG. 5 is a perspective view of a particular form of a scanning prism.

Briefly stated, our invention is in the following specification characterized as an arrangement for scanning a field of view, where the incoming radiation is focused on a radiation-energy responsive element.

The main difficulty of scanning a field of view in a short time is of mechanical nature. Our invention uses a rotating refractive prism for scanning in one direction. Scanning in a direction essentially perpendicular to said direction is slower than in the first mentioned direction and is accomplished by other means, as by a nodding mirror in the collecting optics. Said slower scanning can also be accomplished by tilting the rotating axis of said prism. The resulting scanning pattern is like the pattern of common television.

Said prism can be rotated very rapidly according to our invention and several thousands of scans per second can be accomplished. In this way our invention allows complete scanning of said field of view many times per second exceeding the frame frequency of ordinary motion pictures.

Referring to the drawings the arrangement according to our invention is characterized by an image surface generated inside the circumscribed circle of said prism by a collecting optics **9** in FIGURE 4. Said prism is in our invention of the form of a plane parallel refractive prism, which is in one case **1** shown in FIG. 1. Said

2

prism has in our invention an even number of sides and is rotated about an axis **2** as indicated by the arrow in FIG. 4, that is perpendicular to the paper in FIG. 1. The said collecting optics has an optical axis **4**, that intersects said rotating axis **2** and is perpendicular thereto. The image surface **5** generated by said collecting optical system is situated inside said prism. Just outside the circle **3** generated by said rotating prism and on the optical axis **4** a scanning aperture **6** is located, through which a radiation passes to the radiation energy responsive element **12** such as a photocell, bolometer or the like, depending upon the energy spectrum of interest.

When said prism rotates, the scanning aperture **6** scans a line on said image surface **5** and when a corner of said prism passes the scanning aperture **6** there is a substantially instantaneous return of the scan.

In FIGS. 1 and 4 there is shown an incoming ray of radiation α having a maximum deviation from the direction of the optical axis. In FIG. 1 φ designates the angle of rotation of the prism, and x, y and z are the axes of a coordinate system, x being along the optical axis and z parallel to the axis of rotation **2**. A point on the image surface **5** is defined by these coordinates, as indicated in the case of a point x, y in FIG. 1, the z coordinate of which is 0, since it is in the x, y plane.

The deflection of rays is shown in FIG. 2 in the y direction as a function of the turning angle φ, and index of refraction of said prism n.

The axis y in FIG. 3 refers to the same axis as in FIG. 2. FIG. 3 shows the necessary form (**7** and **8**) of the image surfaces of said optical system in order that said field of view shall be scanned without aberrations for various values of refractive index of said prism. Referring to FIG. 3 there are for every rotating angle φ and every refractive index of said prism n, two values of x. The larger of said two values of x corresponds to the image surface **7**, that is generated by the rays in the plane of the paper i.e. the x, y plane and forming small angles with the x-axis. The smaller value of x corresponds to the image surface **8**, that is generated by the rays, which are parallel with the x-z plane and form small angles with the x-y plane.

It is apparent from FIG. 3 that the aberrations, which are caused by the prism, can be neutralized to a substantial degree by a suitable choice of image surface. In this way it is possible according to our invention to achieve very high resolution in the optical scanning.

It is preferable if the refractive index of said prism has a value between **3** and **6** for the wave lengths used. Said index of refraction having a value of about **4** is specially advantageous both for yielding a linear scan and for allowing a relatively plane image surface. This is pointed out in FIG. 2 and FIG. 3. As is also shown in FIG. 2 a larger index of refraction of said prism gives a greater length of scan.

The material of said prism must in our invention be transparent for radiation in the energy spectrum of interest and it is preferable if the sides of said prism are coated with suitable material in order to reduce reflections.

The entry area of the rays coming from said optical system for varying turning angles φ does not extend near the corners of the prism in our invention which may therefore be rounded. This improves both the air resistance and the mechanical strength of the prism.

When said prism rotates and the scanning in the other direction is accomplished in said collecting optics the radiation energy responsive element **12** scans said field of view for various energy levels in such field. The output signals from said element are amplified and filtered and may be used to modulate the intensity of a moving spot on a cathode ray tube. The movement of said

図 **16.1** 1960 年代前半からの特許文書

当社は、予測メンテナンス、研究開発、非破壊検査、プロセス制御とオートメーション、マシン ビジョン、その他多くのアプリケーション用に、世界各地で 140,000 台以上の赤外線カメラを販売してきました。

FLIR Systemsは、アメリカに3つ(オレゴン州ポートランド、マサチューセッツ州ボストン、カリフォルニア州サンタバーバラ)、スウェーデン(ストックホルム)に1つの製造工場があります。2007年には、エストニアのタリンにも製造工場が建設されました。ベルギー、ブラジル、中国、フランス、ドイツ、イギリ

ス、香港、イタリア、日本、韓国、スウェーデン、アメリカに直轄の営業所を置き、世界中に張り巡らされた代理店のネットワークと共に国際的なお客様をサポートしています。

FLIR Systems は赤外線カメラ産業の革新を牽引してきました。既存のカメラの向上、新しいカメラの開発を継続的に続けることにより、市場需要を先取りしています。例を挙げると、産業検査用の初めてのバッテリー駆動のポータブルカメラ、初めての非冷却式赤外線カメラなどです。

10722703;a2

図 **16.2** 左Thermovision® Model 661、1969年発売カメラの重量は約25 kg (55 lb.)、オシロスコープは20 kg (44 lb.)、三脚は15 kg (33 lb.)です。オペレータは220 VACジェネレーターセットと、液体窒素の入った10 L (2.6 USガロン) 容器も必要です。オシロスコープの左側には、ポラロイドのアタッチメント (6 kg/13 lb.)があります。右: FLIR i7、2009年発売重量:0.34 kg (0.75 lb.)、バッテリーを含む

FLIR Systems は、カメラ システムの重要機構および電子部品をすべての自社製造しています。検出素子設計、レンズおよび電子システムの製造から、最終検査およびキャリブレーションまで、すべての生産プロセスは当社の技術者が実行し、指揮しています。これらの赤外線の専門家の豊富な経験により、赤外線カメラを構成するすべての部品の正確さと信頼性が確証されています。

16.1 赤外線カメラを超える機能

FLIR Systems は、高性能の赤外線カメラ システムを生産する以上のことが求められていることを認識しています。当社の使命は、最高のカメラとソフトウェアを提供することにより、当社の赤外線カメラ システムを利用するすべてのユーザーの生産性を向上することです。予測メンテナンス用のカスタムソフトウェアについては、研究開発およびプロセス監視を社内で行っています。ほとんどのソフトウェアは、多数の言語で使用可能です。

すべての赤外線カメラに付属品を提供し、サポートしており、必要な赤外線の用途に応じて機器を適合させることができます。

16.2 知識の共有

当社のカメラは使いやすく設計されていますが、使い方に加えて、サーモグラフィについての知識を得ることも重要です。そのため、FLIR Systems は、独立した Infrared Training Center (ITC) を設立し、認定トレーニング コースを提供しています。ITC のコースに参加することにより、実践に基づいた専門知識を学ぶことができます。

ITC のスタッフは、赤外線理論を実行するために必要な適用サポートの提供も行っております。

16.3 カスタマー サポート

FLIR Systems は、世界的なサービス ネットワークを運営して、お客様のカメラがいつでも動作できるようにサポートしています。 カメラに問題がある場合は、お近くのサービス センターにある機器やノウハウを活用して、できる限り短い時間で問題を解決します。 そのため、カメラを遠方 (地球の反対側) に郵送したり、言葉の通じない担当者に問い合わせる必要はありません。

16.4 当社の製造・開発現場から

10401303;a1

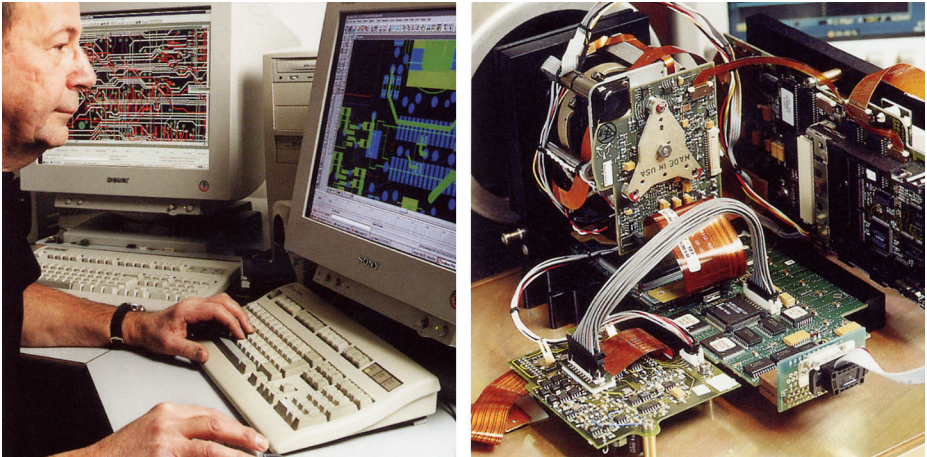



図 **16.3** 左**:** システム エレクトロニクスの開発。右： FPA 検出素子

10401403;a1

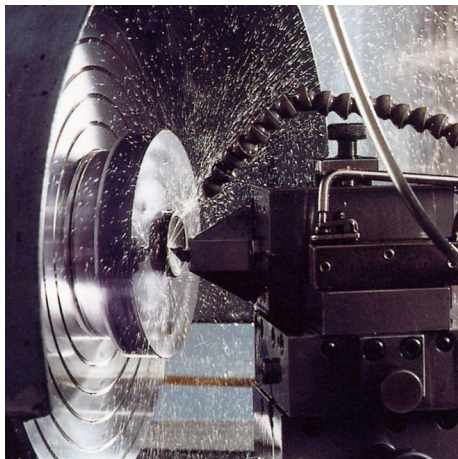



図 **16.4** 左**:** ダイアモンド回転機械。右： レンズ磨き

10401503;a1

図**16.5** 左**:**気候室での赤外線カメラの試験。右：カメラテストおよびキャリブレーション用ロボット

17 用語集

用語または表現	説明
FOV	視野。IR レンズを通して見ることのできる水平角です。
FPA	焦点面アレイ。IR 検出素子の一種です。
IFOV	瞬間視野。IR カメラの幾何学的分解能の単位です。
IR	赤外線
Laser LocatIR	カメラ前方のオブジェクトの特定箇所に当てるための、細く集束されたレーザー ビームを放射する電気光源です。
NETD	ノイズと等価になる温度差です。IR カメラの画像ノイズレベルの単位です。
アイソサーモ	1℃ またはそれ以上の間隔で、温度の上側、下側、または中間をハイライトする機能です。
アイソサーモ空洞	一様な温度を持つ瓶の形をした放熱体です。瓶首から中を見ることができます。
オブジェクト パラメータ	対象物の測定が行われた環境、および対象物そのものを説明する値一式のことです（たとえば、放射率、反射見かけ温度、距離）。
オブジェクト信号	オブジェクトからカメラが受けた放射の量に関連する、キャリブレーションされていない値のことです。
サチュレーション カラー	外部温度の現在のレベルおよび間隔設定を含む領域がサチュレーション カラーで色づけされます。‘アンダーフロー’ カラーおよび ‘オーバーフロー’ カラーを含むサチュレーション カラーです。変更が必要と思われる領域を示す、検出器によって飽和されたすべての部分にしるしを付ける、3 つ目の赤色サチュレーション カラーも含まれます。
サーモグラム	熱画像
スペクトル放射	単位時間、単位波長あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 ($W/m^2/m$) です。
デュアル アイソサーモ	1 つではなく、2 つのカラーバンドのアイソサーモです。
ノイズ	熱画像の望ましくない小さな障害です。
パレット	IR 画像を表示するために使用する色一式です。
ピクセル	「画像要素」を表しています。画像のスポット 1 つ 1 つのことです。
フィルタ	特定の赤外線波長域のみ透過する材料です。

用語または表現	説明
レベル	温度目盛の中間値です。通常は、信号値として表現されます。
レンジ	IR カメラの現在の全体的な温度測定の限定されたレンジです。カメラにはいくつかのレンジがあります。現在のキャリブレーションを制限する 2 つの黒体温度によって表されます。
レーザー ポインター	カメラ前方のオブジェクトの特定箇所に当てるための、細く集束されたレーザー ビームを放射する電気光源です。
伝導	材料に熱が拡散されている過程のことです。
反射	オブジェクトによって反射された放射量と受けた放射との割合0 から 1 の間の数値になります。
可視像	IR カメラのビデオ モードです。ノーマル、つまりサーモグラフィ モードとは異なります。カメラがビデオ モードに設定されていると、通常のビデオ画像を記録します。カメラが IR モードに設定されていると、サーモグラフィ画像が記録されます。
吸収 (吸収率)	オブジェクトによって吸収された放射量と受けた放射との割合0 から 1 の間の数値になります。
基準温度	通常どおり測定された値と比較できる温度のことです。
外部光学系	外部レンズ、フィルタ、熱シールドなど、カメラと測定されているオブジェクトの間に取り付けられ部品のことです。
大気	測定されているオブジェクトとカメラの間のガス、通常は空気です。
大気透過率の予測値	ユーザーから提供される透過率値です。計算値に置き換えられます。
大気透過率の計算値	気温、空気の相対湿度、およびオブジェクトとの距離から計算された透過率の値です。
対流	重力または別の力によって流体が動き、この動きによって、ある場所から別の場所に熱が伝わる伝熱方式です。
手動調整	手動で特定のパラメータを変更して、画像を調整する方法です。
放射	オブジェクトまたはガスから電磁エネルギーが放射される過程です。
放射 (放射率)	オブジェクトから出た放射量と黒体の受けた放射量との割合0 から 1 の間の数値になります。

用語または表現	説明
放射力	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W/m^2) です。
放射強度	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W) です。
放射量	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 ($W/m^2/sr$) です。
放熱体	IR 放熱設備一式です。
温度スケール	IR画像を現在表示している方法です。色を制限する2つの温度値として表されます。
温度レンジ	IRカメラの現在の全体的な温度測定の限定されたレンジです。カメラにはいくつかのレンジがあります。現在のキャリブレーションを制限する2つの黒体温度によって表されます。
温度差または温度の違い	減算によって求められた 2 つの温度の差の値です。
灰色体	各波長域で黒体のエネルギーと一定の比率のエネルギーを放射する物体のことです。
環境	測定されているオブジェクトに対して放出しているオブジェクトまたはガスです。
画像補正 (内部または外部)	撮影画像のさまざまな部分の検出感度の違いを補正したり、カメラの安定性を補正する方法です。
相対湿度	現在の空気中の水蒸気の質量と飽和状態で空気中に含まれる最大質量の比率を表す相対湿度。
空洞放射体	内側に吸収剤がついている瓶の形をした放熱体です。瓶首から中を見ることができます。
自動パレット	IR画像が不規則な色の広がりを示して、冷たいオブジェクトと温かいオブジェクトを同時に表示している状態です。
自動調整	内部画像補正をカメラに実行させる機能です。
色温度	黒体の色の温度と特定の色が一致しています。
赤外線	不可視放射線です。波長は 2–13 μm です。
透過アイソサーモ	色の線形的な広がりを示すアイソサーモです。画像のハイライトされた部分を示すのではありません。
透過率	透過率はガスや材料によって異なります。透過率は、IR放射が通過する量です。0 から 1 の間の数値になります。
連続アジャスト	画像を調整する機能です。この機能は常に動作し、画像の内容によって連続的に明るさとコントラストを調整します。

用語または表現	説明
間隔	温度目盛の間隔の値です。通常は、信号値として表現されます。
黒体	まったく反射しないオブジェクトのことです。放射はすべて自身の温度によるものです。
黒体放射	黒体特性を持つ IR 放射装置は、IR カメラのキャリブレーションに使用されます。

18　熱測定技術

18.1　*はじめに*

赤外線カメラは物体から放出された赤外線を測定、撮像します。赤外線は物体表面温度の作用であるため、カメラはこの温度を計算し表示することができます。

ただし、カメラが測定した赤外線は物体の温度のみではなく、放射率によっても作用します。赤外線は周辺からも発生して物体に反射します。物体からの赤外線と反射した赤外線は、大気の吸収作用にも影響を受けます。

このため、温度を正確に測定するには多数の異なる放射元の効果を補正する必要があります。この補正はカメラによってオンラインで自動的に行われます。ただし、カメラに以下のオブジェクトパラメータを提供する必要があります。

- 物体の放射率
- 反射源見かけ温度
- 物体とカメラの距離
- 相対湿度
- 大気の温度

18.2　*放射率*

正確に設定すべき最も重要なオブジェクトパラメーターは放射率、つまり、同じ温度の完全黒体と比較して物体からどの程度の赤外線が発射されているかを表す測定値です。

通常、物体の素材と表面処理によって放射率は約0.1から0.95の範囲で表されます。高精度に研磨された表面 (ミラー) では 0.1 未満になることもあり、また、酸化したりペイントされた表面では高い放射率を持つ場合もあります。可視スペクトルにおける色に関わらず、油性ペイントの赤外線の放射率は0.9を超えます。人間の皮膚の放射率はほぼ0.97 から 0.98 です。

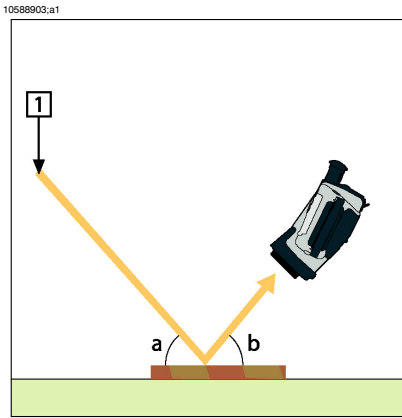
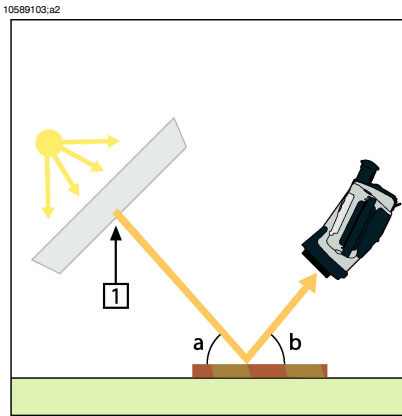
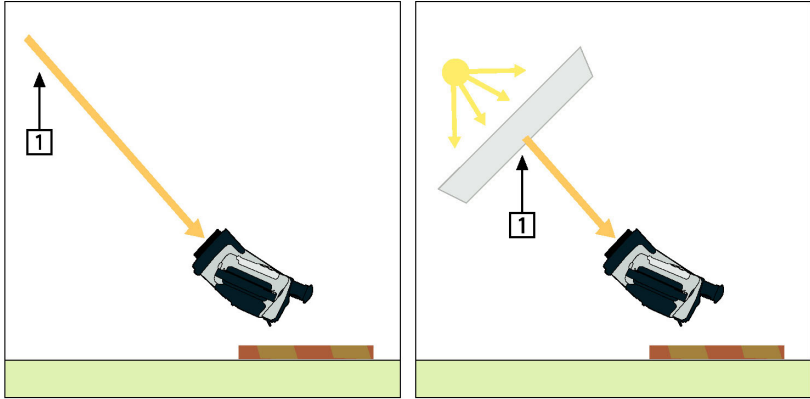
酸化していない金属の場合、完全な不透明性と高い反射性という極端なケースを示し、波長によって大きく異なることはありません。そのため、金属の放射率は低くなります。ただし、金属の放射率は温度に比例して増加します。非金属の場合、放射率は高くなりがちで、温度に比例して減少します。

18.2.1　サンプルの放射率を見つける

18.2.1.1　ステップ*1*： 反射された明らかな温度の決定

下記の2つの方法のうちいずれかを使用して、反射見かけ温度を決定します。

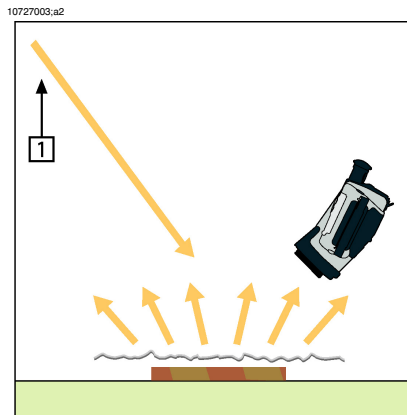
18.2.1.1.1 方法 1： 直接法

1	入射角＝反射角 (a = b)を考慮し、考えられる反射源を探してください。 10588903;a1 図 **18.1** 1 ＝反射源
2	反射源がスポット源の場合、ダンボールなどで遮って反射源を修正してください。 10589103;a2 図 **18.2** 1 ＝反射源

3	以下の設定を使って、反射源からの放射線の強度 (= 見かけ温度) を計測します。 ■ 放射率： 1.0 ■ D_{obj}： 0 次の 2 つの方法のいずれかを使用して、放射線の強度を測定できます。 10589003;a2 図 **18.3** 1 ＝反射源

注：熱電対を使って反射見かけ温度を計測するのは2つの重要な理由からお勧めできません。

- 熱電対は放射線の強度を計測しない
- 熱電対は表面に非常に良い熱接触を必要とし、それは通常、熱アイソレーターによってセンサーを糊付け及びカバーして行われる。

18.2.1.1.2 方法 2：反射法

1	アルミホイルの大きなシートを細かくします。
2	細かくしないアルミホイルを同じサイズのボール紙に貼り付けます。
3	測定する物体の前に、そのボール紙を置きます。アルミホイルが貼られている面がカメラの側を向いていることを確認します。
4	放射率を 1.0 に設定します。

5	アルミホイルの反射温度を測定し、記録します。 10727003;a2 図 **18.4** アルミホイルの見かけ温度を測定します。

18.2.1.2 ステップ2： 放射率の決定

1	サンプルを置く場所を選択してください。
2	以前の手順に応じて、反射された明らかな温度を決定及び設定してください。
3	サンプル上に高い放射率を持つ電子テープを置いてください。
4	サンプルを最低、室温より20K暖めてください。 温めるのは均等でなくてはなりません。
5	カメラをフォーカス及び自動調整し、画像をフリーズします。
6	**レベル**と**スパン**を画像の最高の明るさとコントラスト用に調整します。
7	テープの放射率に設定します (通常 0.97)。
8	以下の計測機能のひとつを使って、テープの温度を計測してください。 ■ **アイソサーモ**（温度の測定と、サンプルが均等に温まっていることの確認の両方に有用） ■ **スポット** （より単純） ■ **ボックス Avg** （異なる放射率を持つ表面に最適）
9	温度を記録します。
10	計測機能をサンプル表面に動かします。
11	以前の計測と同じ温度になるまで放射率設定を変更してください。
12	放射率を記録します。

注：

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

- 無理な対流は避けてください。
- スポット反射を発生しない熱的に安定した環境を探してください。
- 不透明で、高い放射率を持つテープを使ってください。
- この方法はテープとサンプルの表面が同じ温度であることを条件とします。同じでない場合、放射率の計測が間違っていることになります。

18.3 反射見かけ温度

このパラメータは、物体が反射する放射を補正するために使用されます。放射率が低く、物体の温度が反射温度と比較的大きく異なっている場合、反射温度を正しく設定し、反射見かけ温度を正しく補正することが重要です。

18.4 距離

距離とは、物体とカメラの前面レンズとの間の距離を指します。このパラメータは、次の 2 つの事象を補正するために使用されます。

- 対象からの放射が物体とカメラの間の待機によって吸収される
- 大気そのものからの放射がカメラによって検出される

18.5 相対湿度

カメラは、伝達率が大気の相対湿度にいくらか依存しているという事象についても補正できます。この補正を行うには、相対湿度を正しい値に設定する必要があります。短距離および通常湿度の場合、相対湿度は通常、50% の初期値のままにしてかまいません。

18.6 その他のパラメータ

上記だけでなく、FLIR Systems 製のカメラおよび解析プログラムの中には、次のパラメータを補正できるものもあります。

- 大気温度 – つまり、カメラと対象物との間の大気の温度
- 外部光学系温度 – つまり、カメラ前面で使用される任意の外部レンズやウィンドウの温度
- 外部光学系透過率 – つまり、カメラ前面で使用される任意の外部レンズやウィンドウの伝達率

19　赤外線技術の歴史

1800 年まで、電磁波スペクトルに赤外線部分が存在することなど誰も想像していませんでした。熱放射の一種としての赤外線スペクトル (または「赤外線」) そのものの重要性は、Harschel によって 1800 年に赤外線部分が発見されたときよりも特筆すべきものではなくなっています。

10398703;a1

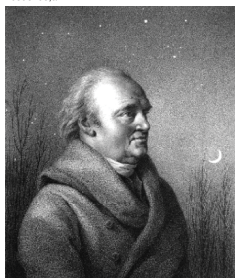



図 **19.1** William Herschel 卿 (1738–1822)

新しい光学材料の研究中に偶然発見されたものでした。William Herschel 卿 (イギリス王ジョージ三世の王室天文学者、天王星の発見で有名) は、太陽観測中に望遠鏡の太陽画像の明るさを低減するための光学フィルタ材料を研究していました。異なる色ガラスのサンプルでテストを行うと、明るさは同じように低減されていましたが、サンプルの中には太陽熱をほとんどまったく通さないことに興味をそそられました。それに対し、他のサンプルでは太陽熱をほとんど透過させ数秒観察するだけで目を損傷する危険があるほどでした。

Herschel は、熱を最大限に減少させると同時に明るさも希望通りに減少させるただ 1 つの素材を見つけるために、ただちに系統だった実験を行う必要あると確信しました。実験は、実際にニュートンのプリズム実験を繰り返す方法で始まりましたが、スペクトルの視覚的な光の分布強度よりも、加熱効果を探すものでした。まず、感度の高い水銀封入ガラス温度計のバルブをインクで黒くし、これを放射線検出器として使用して、太陽光をガラス プリズムに通すことで机の上にさまざまな色のスペクトルを形成させ、その加熱効果をテストしていきました。太陽光の外に置いた他の温度計は、制御の役目を果たしました。

黒くした温度計をスペクトルの色に沿ってゆっくり動かしていくと、青紫の端から赤い端へ向かうにしたがって、温度計の目盛りは一定に上昇していきました。これは、まったくの予想外の結果というわけではありませんでした。イタリアの研究者、Landriani が、すでに 1777 年に似たような実験を行い、同様の

結果を得ていたからです。ただし、Herschelの特筆すべき点は、加熱効果が最大に達するポイントがあるはずであり、スペクトルの可視部分に限定された測定では、このポイントの検索に失敗したと初めて気付いたことにあります。

10398903;a1

図 **19.2** Marsilio Landriani (1746–1815)

温度計を赤いスペクトルの端から暗い領域に動かしたところ、Herschelは温度が引き続き上昇することを確認しました。彼が発見した最高点は、赤色の端を越えたところにありました。これが今日「赤外線波長域」として知られている部分です。

Herschelがこの発見を発表したとき、彼は電磁波スペクトルのこの新しい領域を「熱スペクトル」と表現しました。 Herschel は、その放射そのものを「黒体熱」や単に「不可視光線」と呼びました。皮肉なことに、一般的な見方とは異なり、「赤外線」という用語はHerschelから発しているのではありません。その言葉は 75 年ほど後に印刷物に登場しましたが、依然としてだれから端を発しているかは分かっていません。

Herschel の初期実験でのプリズム ガラスの使用は、赤外線波長域の実在性について、当初同時代の研究者との間に論議を呼びました。別の研究者が、Herschel の研究を実証するため、いろいろな種類のガラスを見境なく使用して、赤外線部の異なる透明性を見出しました。彼の実験によって、Herschelは制限されたガラスの透明性から熱放射の新たな発見に気づきました。彼は、赤外線の研究が反射要素によって排他的に使用される運命にあると結論せざるを得ませんでした。幸いにも、イタリア人の研究者によって、彼の理論の正しさが証明されました。Melloni は、自然岩塩 (NaCl) が赤外線を通すことを発見しました。岩塩は、レンズやプリズムを作ることができるほど大きな天然の結晶です。この結果により、岩塩は主な赤外光学材料となり、1930 年に合成結晶成長の技術が習得されるまで 100 年ほどにわたって使用されました。

10399103;a1

図 **19.3** Macedonio Melloni (1798–1854)

温度計は、放熱検出器として 1829 年まで使用されました。この年に Nobili が熱電対を発明しました。(Herschel の温度計は 0.2 °C まで読むことができましたが、後のモデルでは 0.05 °C まで読むことができるようになりました)その後、飛躍的な進歩があり、Melloni が、複数の熱電対を接続して最初の熱電対列を作成しました。この新しい機器は、当時熱放射の検出に使用されていた温度計の 40 倍以上も感度が高いものでした。人からの熱を 3 メートル離れたところから検出する能力がありました。

初めての「熱写真」の撮影は、John Herschel の研究の結果 1840 年に可能になりました。John Herschel は赤外線の発見者および有名な天文学者の息子であり、親譲りの才能がありました。薄い油膜の蒸発の違いによって、露出した熱パターンを油膜に当てると、反射光によって熱画像を見ることができます。油膜の干渉効果によって肉眼で画像を確認できます。John は、紙に熱画像の簡単な記録を取ることも考案し、「サーモグラフ」と呼びました。

10399003;a2

図 **19.4** Samuel P. Langley (1834–1906)

赤外線検出器の感度の向上は、非常にゆっくりしたものでした。次の飛躍的な前進は、Langley によるもので、1880 年にボロメータが発明されました。この装置は、ホイートストン ブリッジ回路の 1 つのアームに接続された白金の黒い薄片で構成され、その上に赤外線が焦点を合わせ、それに対して感度の高い検流計が反応するものです。この装置では、400 メートル離れたところにいる牛の熱を検出できたと言われています。

英国の科学者、James Dewar 卿は初めて液化ガスを冷却材 (たとえば、温度が -196 °C の液体窒素) として使用し、低温調査を行いました。1892 年に彼は特殊な真空断熱コンテナを発明し、液化ガスを数日保管できるようにしました。よく使われている「魔法瓶」は、彼の発明が元になっており、熱い飲み物や冷たい飲み物を保存しておくことができます。

1900 年から 1920 年の間に、世界の発明者たちが赤外線を「発見」しました。多くの特許が、人、大砲、飛行機、船や氷山を検出する機器のために発行されました。近代において、最初の操作システムは 1914 年から 1918 年の戦争中に開発され始め、両陣営において軍事目的で赤外線の研究プログラムが進められました。これらのプログラムには、敵の侵入の検出、遠隔温度検出、確実な通信、ミサイル誘導のための実験的なシステムが含まれます。この期間にテストされた赤外線検知システムは、接近してくる飛行機であれば 1.5 キロメートル、人であれば 300 メートル離れたところから検出できました。

この時代までのほとんどの検知システムはボロメータのさまざまな概念を元にしたものでしたが、次の大戦までの期間に、画像変換機と光子検出器という 2 つの革新的な赤外線検出器が開発されました。当初、歴史上初めて見張りが実際の暗闇でも見ることができようになったため、軍事面から画像変換機は大きな注目を受けました。ただし、画像変換機の感度は赤外線波長域の付近に限定されており、ほとんどの軍事標的 (兵士など) は赤外線検出ビームで照らされている必要がありました。これは、見張りの場所を同じように装備している敵の見張りに明らかにしてしまう危険があったため、画像変換機への軍事面での関心が薄れていったのは当然のことと言えます。

「能動的」熱画像システム (検出ビームが必要) の軍事戦術的に不利な点によって、続く 1939 年から 1945 年までの戦争で研究に拍車がかかり、多くの軍事特殊機関が赤外線検知プログラムで、非常に繊細な光子検出機による「受動」システム (検出ビーム不要) を開発するようになりました。この期間は、軍事機密規則によって、熱画像技術の状況の公開が完全に禁止されるようになりました。1950 年半ばに機密が解除されるようになり、このときから民間の科学者や産業で、十分の熱画像機器がついに使用できるようになりました。

20 サーモグラフィの理論

20.1 はじめに

赤外線の被写体と関連するサーモグラフィ技術は、赤外線カメラを使用しようとしている多くの人々にとって未だ新しいままです。このセクションでは、サーモグラフィの背後にある理論について説明します。

20.2 電磁スペクトル

電磁スペクトルは、バンドと呼ばれる多数の波長領域に任意に分割され、赤外線の生成および検出に使用する方式で識別されます。電磁スペクトルのさまざまなバンドにある赤外線は基本的に同じです。赤外線はすべて同じ法則で規定されており、波長による違いがあるのみです。

10067803;a1

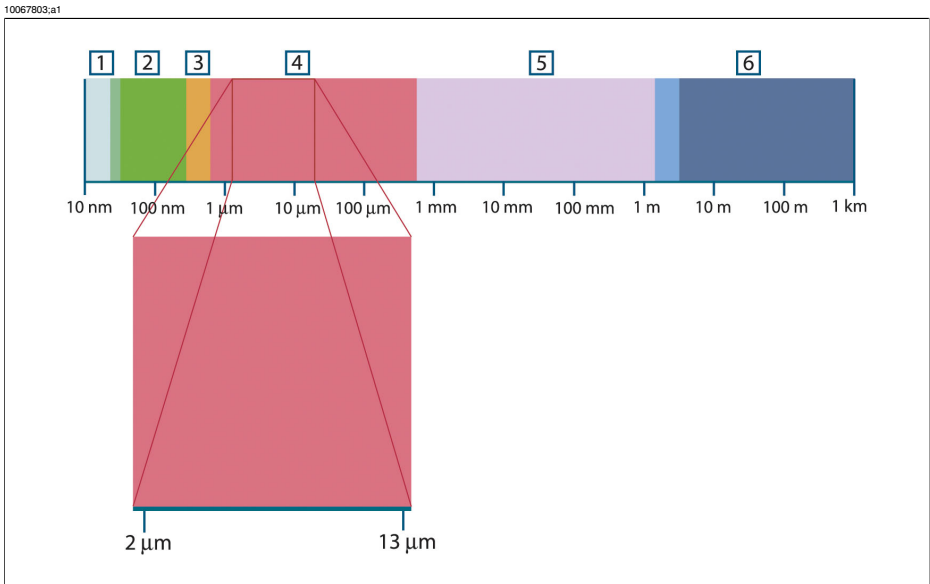



図 **20.1** 電磁スペクトル。**1**： X 線、**2**：UV、**3**：可視像、**4**：熱画像、**5**：マイクロ波、**6**：電波。

サーモグラフィは赤外線スペクトル バンドを利用します。短波長の末端部では、境界は可視光の限界点に深い赤色で存在します。長波長の末端部では、境界はミリメートルの範囲でマイクロ波の電波長と融合します。

多くの場合、赤外線バンドはさらに 4 つの小さなバンドに再分割されます。こうしたバンドの境界も任意に選択されます。そうしたバンドには、*近赤外線* (0.75–3 µm)、*中赤外線* (3–6 µm)、*遠赤外線* (6–15 µm) および*極赤外線* (15–100

µm) があります。波長は µm (マイクロメートル) で提供されますが、このスペクトル範囲での測定には他の単位も未だよく使用されています (*例:* ナノメートル (nm)、オングストローム (Å)。

それぞれの波長測定値の関係は次のとおりです。

$$10\ 000\ \text{Å} = 1\ 000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

20.3 黒体放射

黒体とは、任意の波長にて、黒体上に衝突する放射線をすべて吸収する物体のことです。放射線を発散する物体に関して明らかに誤った呼び名である「*黒*」については、Kirchhoff の原則 (*Gustav Robert Kirchhoff*, 1824–1887 より命名) で説明されています。この原則には、任意の波長にてすべての放射線を吸収できる物体は、放射線の発散も同様に可能であると記載されています。

10398803;a1

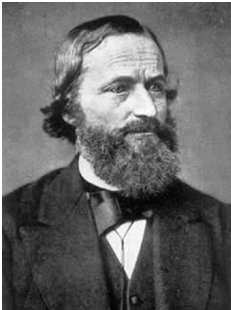



図 **20.2** Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

黒体源の構造は原理的には非常に単純です。不透明な吸収素材で作られた均一温度の空洞にある開口部の放射特性は、黒体の特性とほぼ同じです。完全な放射線吸収体へのこの法則の実際の用途には、いずれかの側面にある開口部を除いて光を遮断された箱があります。その穴に入り込む放射線は、反射が繰り返されることによって分散され吸収されるため、微量の断片のみが場合によっては逃れられる程度です。開口部で取得される黒度は、黒体とほぼ等しく、すべての波長に対してほぼ最適です。

こうした均一温度の空洞に適切なヒーターを備えると、空洞は*空洞放射体*と呼ばれるものになります。均一の温度に暖められた均一温度の空洞は黒体放射を生成します。この黒体放射の特徴は、空洞の温度のみにより決まります。こうした空洞放射体は一般的に、ラボにて温度基準ゲージの放射源として、たとえば FLIR Systems カメラなどのサーモグラフィ機器のキャリブレートに使用されます。

黒体放射の温度が 525°C (977°F) を超えると、光源が見えるようになり始め、目にはもはや黒とは写らなくなります。これは放射体の初期の赤い熱温度であり、さらに温度が上昇するにつれてオレンジや黄色になります。実際、物体のいわゆる*色温度*とは、同じ色を得るために黒体が熱せられる必要がある温度と定義されています。

ここで、黒体から発散される放射線を説明する 3 つの式について考えてみましょう。

20.3.1 Planck の法則

10399203;a1

図 **20.3** Max Planck (1858–1947)

Max Planck (1858–1947) は、黒体からの放射線のスペクトル分布を次の演算式を使用して説明することができました。

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)} \times 10^{-6} [Watt\,/\,m^2, \mu m]$$

ここで、

$W_{\lambda b}$	波長 λ での黒体スペクトル放射発散度。
c	光速 = 3 × 10^8 m/s
h	Planck の定数 = 6.6 × 10^{-34} ジュール秒
k	Boltzmann の定数 = 1.4 × 10^{-23} ジュール/K。
T	黒体の絶対温度 (K)。
λ	波長 (μm)。

➲カーブのスペクトル放射はW/m²、µmで表現されるため、10^{-6}の係数が使用される。

さまざまな温度をグラフで描画すると、Planckの演算式は一連の曲線を生成します。いずれかの特定の Planck 曲線に従い、スペクトル発散度は λ = 0 にてゼロとなり、急速に上昇して波長 λ_{max} にて最大となります。これを通過すると、非常に長い波長にて再度ゼロに近づきます。温度が上昇するにつれて、最大値が発生する波長は短くなります。

10327103;a4

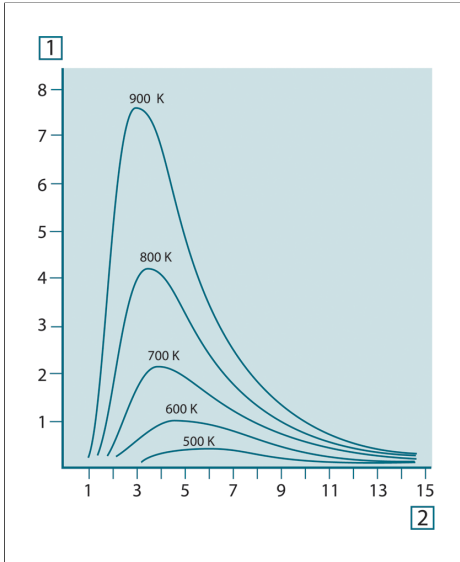



図 **20.4** Planck の法則に従ってさまざまな絶対温度に対して描画された黒体スペクトル放射発散度。**1**： スペクトル放射発散度 (W/cm² × 10³(µm))、**2**： 波長 (µm)

20.3.2 Wien の変位の法則

λに関してPlanckの演算式を差別化し、最大値を見つけると、次の演算式が得られます。

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} [\mu m]$$

これは、Wien の演算式 (*Wilhelm Wien*, 1864–1928 より命名) であり、熱放射体の温度が上昇するにつれて色が赤からオレンジまたは黄色へ変化する一般的な観察を数学的に表したものです。色の波長は λ_{max} に対して計算される波長と同じです。任意の黒体温度の λ_{max} 値の適切な近似値は、経験則 3 000/T µm を適用することで得られます。そのため、青みがかった白色の光を発散するシリウスなどの非常に熱い星 (11 000 K) は、0.27 µm の波長にて、不可視の紫外線スペクトル内で発生するスペクトル放射発散度のピークで放射します。

10399403;a1

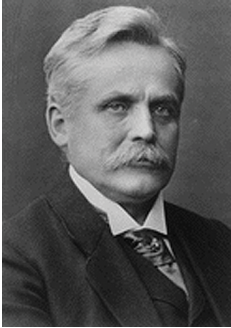



図 **20.5** Wilhelm Wien (1864–1928)

太陽 (約 6 000 K) は可視光スペクトルの中間の約 0.5 μm をピークとして黄色の光を発散します。

室温 (300 K) では、放射発散度のピークは遠赤外線にて 9.7 μm であり、液体窒素の温度 (77 K) では、ほぼ微少な量の放射発散度は超赤外線波長にて 38 μm となります。

10327203;a4

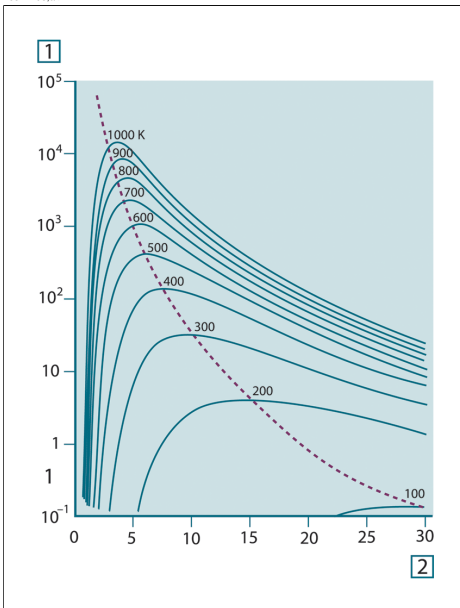



図 **20.6** 100 K から 1000 K までの半対数目盛で描画された Planckian の曲線。点線は、Wien の変位の法則で説明した各温度での最大放射発散度の軌跡を表しています。**1**： スペクトル放射発散度 (W/cm² (μm))、**2**：波長 (μm)。

20.3.3 Stefan-Boltzmann の法則

Planck の演算式を λ = 0 から λ = ∞ に積算すると、以下の黒体の総合放射発散度 (W_b) が得られます。

$$W_b = \sigma T^4 \ [\mathrm{Watt/m^2}]$$

これは、Stefan-Boltzmann の演算式 (*Josef Stefan* (1835 年 ～ 1893 年) および *Ludwig Boltzmann* (1844 年 ～ 1906 年より命名) であり、黒体の総合放射力がその絶対温度の 4 の累乗と比例することを表しています。グラフ化すると、W_b は、特定の温度に対する Planck の曲線の下部の領域を表しています。λ = 0 から λ_{max} までの間隔の放射発散度は全体の 25% のみであることが示され、これは可視光スペクトル内に入る太陽の放射線量とほぼ同じです。

10399303;a1

図 **20.7** Josef Stefan (1835–1893)、および Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Stefan-Boltzmann の演算式を使用して、300 K の温度および約 2 m² の外面エリアで人体から放射される力を計算すると、1 kW となります。体温または衣服を追加した温度と大きく異ならない室温では、周囲表面からの放射線の補正吸収がなければ、この力損失を維持することはできません。

20.3.4 非黒体発散体

これまで、黒体放射体および黒体放射について説明してきました。しかし、実際の物体はほとんどの場合、特定のスペクトル間隔では黒体の性質に近づくことはありますが、拡張された波長領域を超えるとこうした法則には当てはまりません。たとえば、ある種の白色塗料が可視光スペクトルにおいて完全な*白*に見える場合がありますが、約 2 µm では「*灰色*」に、3 µm を超えると、ほぼ「*黒*」になります。

実際の物体が黒体のように振舞わなくさせる、起こりうるプロセスは3つあります。つまり、入射放射線の成分 α は吸収され、成分 ρ は反射し、成分 τ は透過されます。こうした3つの成分すべては多かれ少なかれ波長に依存しているため、下付き文字λは、その定義のスペクトル依存性を暗示するために使用されています。そのため、

- 分光吸収率 α_λ = 物体に入射する分光放射と物体が吸収する分光放射の比。
- 分光反射率 ρ_λ = 物体に入射する分光放射と物体が反射する分光放射の比。
- 分光透過率 τ_λ = 物体に入射する分光放射と物体を透過する分光放射の比。

これら3つの要因の合計は必ず任意の波長における全体となるため、次の関係が成り立ちます。

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

不透明な素材では $\tau_\lambda = 0$ であり、関係は次のように簡素化されます。

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

放射率と呼ばれる別の成分は、特定の温度にて物体が生成する黒体の放射放射率の成分 ε を説明するのに必要となります。よって、次の定義が得られます。

分光放射率 ε_λ = 同一の温度および波長において黒体から発せられる分光放射と物体から発せられる分光放射の比。

数学的に表現すると、これは、物体の分光放射率と黒体の分光放射率の比として次のように記載できます。

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

一般的に、放射源には3つの種類があり、それぞれの分光放射率が波長に応じて変化する方法によって識別されます。

- 黒体、$\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- 灰色体、$\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$ 未満の定数
- 選択放射体、ε は波長に応じて変化する

Kirchhoffの法則によると、どんな素材の場合も、物体の分光放射率と分光吸収率は、任意の特定の温度および波長では等価となります。つまり、

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

得られた結果から、不透明な素材の場合は次のようになります ($\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ であるため)。

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

よく磨かれた素材の場合、ε_λ はゼロに近づき、完全な反射素材 (*例:* 完璧な鏡) の場合は次のようになります。

$$\rho_\lambda = 1$$

灰色体放射体の場合、Stefan-Boltzmann の演算式は次のようになります。

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

これは、灰色体の総放射が、灰色体からのεの値に比例して低下させた同じ温度での黒体と同じになることを示しています。

10401203;a2

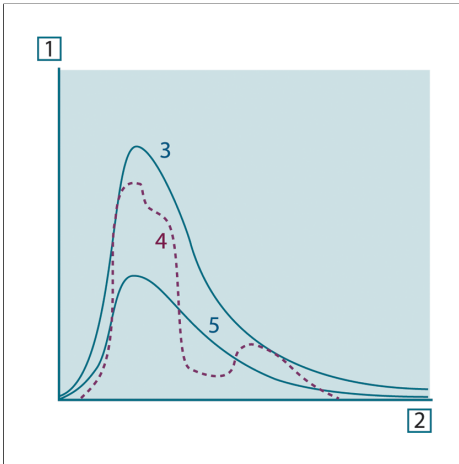



図 **20.8** 3種類の放射体の分光放射放射率。**1**： 分光放射放射率、**2**：波長、**3**：黒体、**4**：選択放射体、**5**：灰色体。

10327303;a4

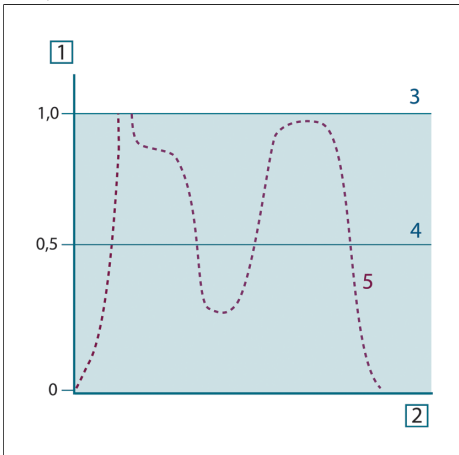



図 **20.9** 3 種類の放射体の分光放射率。**1**： 分光放射率、**2**：波長、**3**：黒体、**4**：灰色体、**5**：選択放射体。

20.4 赤外線半透過性素材

次に、非金属の半透過体、つまり、厚いプラスチック素材の平板などについて考えてみましょう。板を熱すると、その体積内で生成される放射線は、一部を吸収されながら素材を通して表面に向かって働きます。さらに、放射線が表面に達すると、そのうちのいくらかは内部に反射し戻されます。反射しもどされた放射線はふたたび一部が吸収されながら、反対側の表面に到達し、その表面からほとんどの放射線は脱出し、一部は再度反射し戻されます。この累進的な反射はだんだん弱くなりますが、板の総放射率を得る際にはすべてを総計する必要があります。結果として得られる等比級数を合計すると、半透過性の板の有効な放射率は次のようになります。

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1-\rho_\lambda)(1-\tau_\lambda)}{1-\rho_\lambda\tau_\lambda}$$

板が不透明となると、この演算式は単一の演算式に縮小されます。

$$\varepsilon_\lambda = 1-\rho_\lambda$$

この最終的な関係式は、放射率を直接測定するより反射率を測定するほうが容易である場合も多いため、特に便利な式です。

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

21 測定演算式

すでに述べたとおり、物体を表示する場合、カメラが受け取る放射線は物体自体からだけではありません。物体表面を介して反射される周辺からの放射線も収集されます。これらの 2 つの放射線の影響は、測定過程に存在する大気によってある程度吸収されます。さらに、大気自体からの3つ目の放射線の影響が加わります。

測定状態についてのこの説明は、下図に示すとおり、現実の測定においても同様です。無視されたものには、たとえば、大気中に分散する太陽光や視界外部のきわめて強い放射線源からの迷放射線などがありえます。しかし、こうした妨害は定量化が難しく、ほとんどの場合、それらは無視できるほどに小さいものです。無視できない場合、測定構成は、少なくとも教育を受けたオペレータには妨害のリスクが明白である場合が多いのです。その場合、たとえば、測定の向きを変更したり、きわめて強い放射線源を遮断したりして妨害を避けるために測定状態を修正するのはオペレータの対応力となります。

下図を使用して、キャリブレートしたカメラ出力からの物体温度を計算するための演算式を得ることができます。

10400503;a1

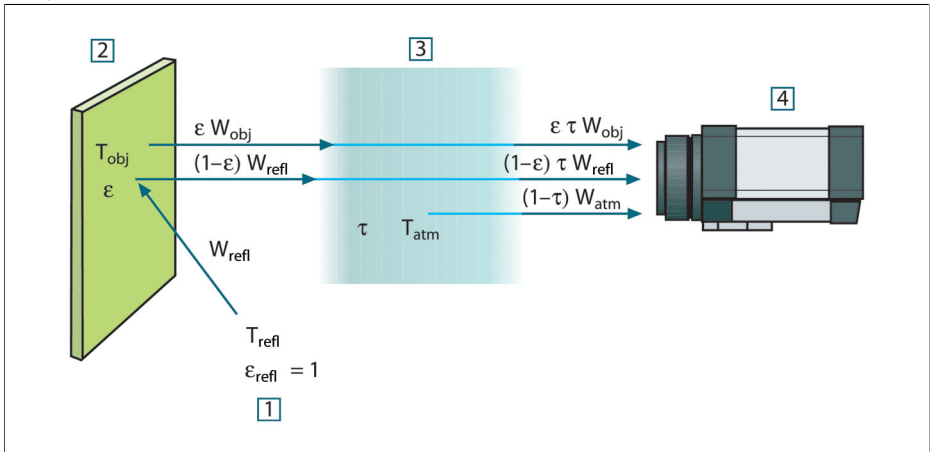



図 **21.1** 一般的なサーモグラフィ測定状態の図式表示。**1**：周辺、**2**：物体、**3**：大気、**4**：カメラ

短距離上にある温度 T_{source} の黒体源から受け取られる放射 W により、放射入力 (放射リニア カメラ) と比例するカメラ出力信号 U_{source} が生成されます。ここで次の式が成り立ちます (方程式 1)。

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

または、簡易表記では次のようになります。

$$U_{source} = CW_{source}$$

ここで、C は定数を表します。

そのため、放射線源が放射率 ε の灰色体である場合、受け取られる放射線は εW_{source} となります。

ここで、収集される 3 つの放射力条件を定義できます。

1 – 物体からの発散度 = $\varepsilon\tau W_{obj}$、ここで ε は物体からの発散量を表し、τ は大気の伝達率を表します。物体温度は、T_{obj} です。

2 – 外気源からの反射発散度 = $(1 - \varepsilon)\tau W_{refl}$、ここで $(1 - \varepsilon)$ は物体の反射度を表します。外気源の温度は T_{refl} です。

温度 T_{refl} は、物体表面上のあるポイントから見える半球内にあるすべての発散表面の温度と同じであると想定されています。もちろん、時にこれは実際の状態を簡素化したものとなります。ただし、これは有効な演算式を得るには必要な簡素化であり、T_{refl} は (少なくとも論理的には) 複雑な周囲の有効な温度を表した値として付与できます。

また、周囲の放射率を 1 と想定していることにも注意してください。これは、Kirchhoff の法則に則った適切な値です。周囲表面上に衝突するすべての放射線は、最終的にその同じ表面によって吸収されます。そのため、放射率は 1 となります。(ただし、最近の論議では、物体周辺の全球を考慮する必要があると言われています。)

3 – 大気からの発散度 = $(1 - \tau)\tau W_{atm}$、ここで $(1 - \tau)$ は大気の放射率を表します。大気の温度は、T_{atm} です。

受け取られる総放射力は次のように記述できます (方程式 2)。

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)W_{atm}$$

各条件に方程式 1 の定数 C を掛け、同方程式に従い、対応する U で CW の積を置き換えると、次の式が得られます (方程式 3)。

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)U_{atm}$$

U_{obj} に対して方程式 3 を解くと次のようになります (方程式 4)。

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau}U_{tot} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}U_{refl} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau}U_{atm}$$

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

これは、すべての FLIR Systems サーモグラフィ機器で使用される一般的な測定演算式です。演算式の電圧は次のようになります。

図 **21.2** 電圧

U_{obj}	温度 T_{obj} の黒体に対する計算されたカメラ出力電圧。例: 実際の要求された物体温度に直接変換できる電圧。
U_{tot}	実際の測定されたカメラ出力電圧。
U_{refl}	キャリブレーション応じた、温度 T_{refl} の黒体に対する論理上のカメラ出力電圧。
U_{atm}	キャリブレーション応じた、温度 T_{atm} の黒体に対する論理上のカメラ出力電圧。

操作時には、計算には多数のパラメータ値を入力する必要があります。

- 物体の放射率 ε
- 相対湿度
- T_{atm}
- 物体の距離 (D_{obj})
- 物体周辺の (有効な) 温度または反射周辺温度 T_{refl}
- 大気の温度 T_{atm}

実際の正確な放射率や大気伝達率の値を見つけるのは通常容易ではないため、オペレータにとってこれは時に困難な作業となる場合があります。周辺に大量の強力な放射線源がない場合、これら 2 つの温度は通常問題にはなりません。

この関係において問題となるのは、こうしたパラメータの正しい値を知ることの重要性についてです。しかし、いくつかの異なる測定を検討したり、3 つの放射線条件の相対的な重要性を比較することで、こうした問題がすでに存在するという印象を受けるのは興味深いこととも言えます。どのパラメータの適切な値をいつ使用することが重要かということについての指針を与えてくれるからです。

この後に示す図では、3 つの異なる物体温度、2 つの放射率、および 2 つのスペクトル範囲 (SW と LW) に対して 3 つの放射線が与える影響の相対的な重要性を示しています。残りのパラメータには次の固定値があります。

- $\tau = 0.88$
- $T_{refl} = +20°C$
- $T_{atm} = +20°C$

最初の測定では「妨害」放射線源は比較的強力であるため、低い物体温度の測定は、高温の測定より重要であることは明白です。物体の放射率も低い場合、状態はずっと難しくなります。

ここでやっと、補外法と呼ばれる最高キャリブレーション ポイントより上のキャリブレーション曲線を使用できるようにすることの重要性についての質問に答えることができます。ある測定にて、U_{tot} = 4.5 ボルトを測定していると想定してみます。カメラの最高キャリブレーション ポイントは、4.1 ボルト、オペレータの知らない値の順でした。そのため、物体がたまたま黒体 (例: U_{obj} = U_{tot}) である場合であっても、実際には 4.5 ボルトを温度に変換する際のキャリブレーション曲線を補外法で推定することになります。

ここで、物体が黒ではなく、0.75 の放射率と途中の大気が 0.92 の伝達率を持っていると想定します。また、方程式 4 の 2 つの第二条件は総計で 0.5 ボルトであると想定します。方程式 4 を使用した U_{obj} の計算結果は、U_{obj} = 4.5 / 0.75 / 0.92 – 0.5 = 6.0 となります。これは、特にビデオ増幅器の出力制限が 5 ボルトである可能性があることを考えると、非常に過激な補外法といえます。ただし、このキャリブレーション曲線の応用は、電気的制限などが存在しない論理的手順であることに注意してください。カメラに信号制限がなく、5ボルトよりずっと上の値でキャリブレートされた場合、FLIR Systems アルゴリズムのようにキャリブレーション アルゴリズムが放射物理学に基づいているなら、結果曲線は4.1 ボルトを超えて補外法で推定された実際の曲線とまったく同じになるはずです。もちろん、そうした補外法に対する制限は存在するでしょう。

10400603;a2

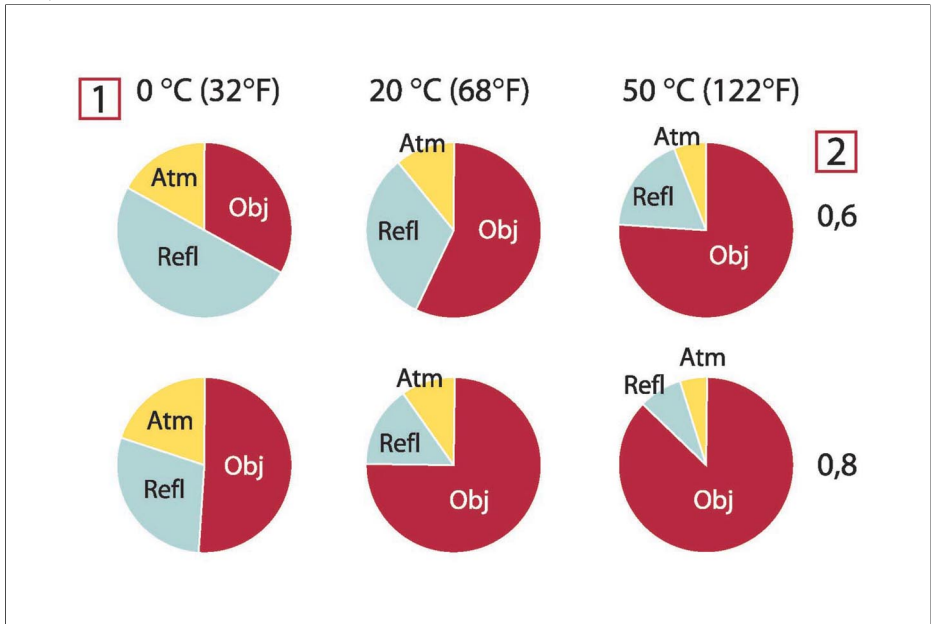



図 **21.3** 変化する測定条件下での放射線源の相対的な大きさ (SW カメラ)。**1:** 対象物の温度範囲、**2:**放射率、**Obj:**物体放射線、**Refl:**反射放射線、**Atm:**黒体放射線。固定パラメータ:τ = 0.88、T_{refl} = 20°C、T_{atm} = 20°C。

10400703;a2

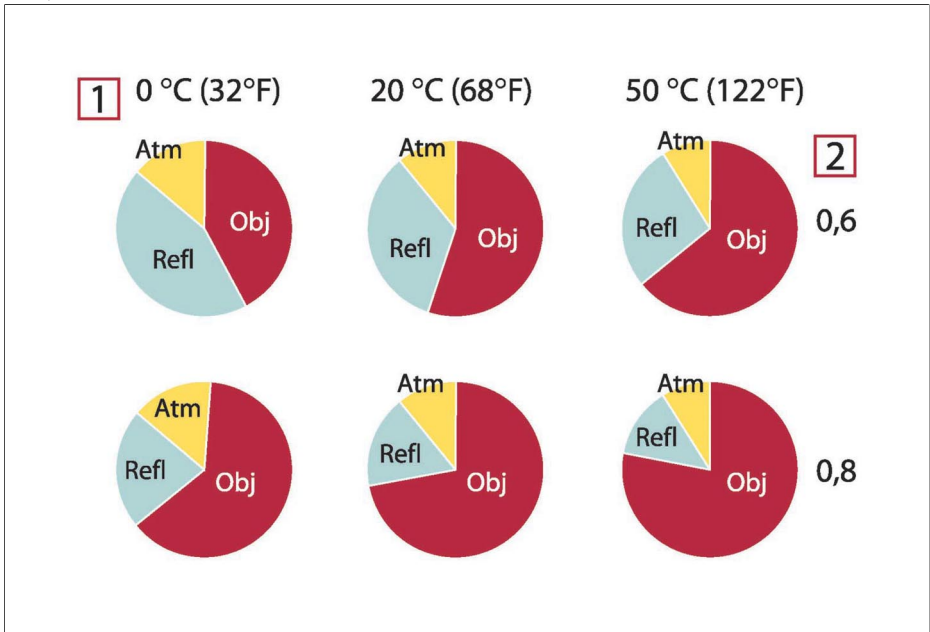



図 **21.4** 変化する測定条件下での放射線源の相対的な大きさ (LW カメラ)。**1:** 対象物の温度範囲、**2:**放射率、**Obj:**物体放射線、**Refl:**反射放射線、**Atm:**黒体放射線。固定パラメータ:τ = 0.88、T_{refl} = 20°C、T_{atm} = 20°C。

22 放射率表

この項では、赤外線の文献および FLIR Systems の測定値からの放射率データを収集したものを提供しています。

22.1 参考文献

1	Mikaél A. Bramson 著 『*Infrared Radiation, A Handbook for Applications*』Plenum press、N.Y
2	William L. Wolfe, George J. Zissis 著 『*The Infrared Handbook*』Office of Naval Research、Department of Navy、Washington, D.C.
3	Madding, R. P. 著 『*Thermographic Instruments and systems*』 Madison、Wisconsin: University of Wisconsin – Extension、Department of Engineering and Applied Science
4	William L. Wolfe 著 『*Handbook of Military Infrared Technology*』Office of Naval Research、Department of Navy、Washington, D.C.
5	Jones、Smith、Probert 共著 『*External thermography of buildings...,*』Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers、vol.110、Industrial and Civil Applications of Infrared Technology、June 1977 London
6	Paljak、Pettersson 共著 『*Thermography of Buildings*』Swedish Building Research Institute、Stockholm 1972
7	Vlcek, J 著 『*Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at λ = 5 µm.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing』
8	Kern 著 『*Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*』Defence Documentation Center、AD 617 417
9	Öhman、Claes 共著 『*Emittansmätningar med AGEMA E-Box*』 Teknisk rapport, AGEMA 1999. (AGEMA E-Box を使用した放射測定。 テクニカル レポート、AGEMA 1999)
10	Matteï, S、Tang-Kwor, E 共著『*Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between –36°C AND 82°C.*』
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32
13	ITC Technical publication 29

22.2 放射率表についての重要な注

以下の表の放射率値は、短波 (SW) カメラを使用して記録されたものです。値は、推奨値としてのみ使用すべきであり、注意して使用する必要があります。

22.3 表

図 **22.1** **T:** 合計スペクトル、**SW:** 2–5 µm、**LW:** 8–14 µm、**LLW:** 6.5–20 µm、**1:** 素材、**2:** 仕様、**3:** 温度 (°C)、**4:** スペクトル、**5:** 放射率、**6:** 基準

1	2	3	4	5	6
3M タイプ 35	ビニール電気テープ (複数色)	< 80	LW	Ca. 0.96	13
3M タイプ 88	黒ビニール電気テープ	< 105	LW	Ca. 0.96	13
3M タイプ 88	黒ビニール電気テープ	< 105	MW	< 0.96	13
3M タイプ Super 33+	黒ビニール電気テープ	< 80	LW	Ca. 0.96	13
Krylon ウルトラブラック 1602	黒色	最高 175 の室温	LW	Ca. 0.96	12
Krylon ウルトラブラック 1602	黒色	最高 175 の室温	MW	Ca. 0.96	12
Nextel Velvet 811-21 黒	黒色	–60–150	LW	> 0.97	10、11
アスファルト舗装		4	LLW	0.967	8
アスベスト	床タイル	35	SW	0.94	7
アスベスト	板状	20	T	0.96	1
アスベスト	石板	20	T	0.96	1
アスベスト	粉末		T	0.40–0.60	1
アスベスト	紙	40–400	T	0.93–0.95	1
アスベスト	織物		T	0.78	1
アルミニウム	HNO_3 に浸漬、プレート	100	T	0.05	4
アルミニウム	ざらざらの状態	27	3 µm	0.28	3
アルミニウム	ざらざらの状態	27	10 µm	0.18	3
アルミニウム	シート、それぞれに違った傷をつけた 4 つのサンプル	70	LW	0.03–0.06	9

1	2	3	4	5	6
アルミニウム	シート、それぞれに違った傷をつけた 4 つのサンプル	70	SW	0.05–0.08	9
アルミニウム	受入、シート	100	T	0.09	2
アルミニウム	受入、プレート	100	T	0.09	4
アルミニウム	強度に酸化	50–500	T	0.2–0.3	1
アルミニウム	真空蒸着	20	T	0.04	2
アルミニウム	研磨	50–100	T	0.04–0.06	1
アルミニウム	研磨、シート	100	T	0.05	2
アルミニウム	研磨プレート	100	T	0.05	4
アルミニウム	粗い表面	20–50	T	0.06–0.07	1
アルミニウム	金属箔	27	3 μm	0.09	3
アルミニウム	金属箔	27	10 μm	0.04	3
アルミニウム	鋳込、ブラストクリーニング済み	70	LW	0.46	9
アルミニウム	鋳込、ブラストクリーニング済み	70	SW	0.47	9
アルミニウム	長期にわたり風雨にさらした状態	17	SW	0.83–0.94	5
アルミニウム	陽極酸化、明灰色、つやなし	70	LW	0.97	9
アルミニウム	陽極酸化、明灰色、つやなし	70	SW	0.61	9
アルミニウム	陽極酸化、黒、つやなし	70	LW	0.95	9
アルミニウム	陽極酸化、黒、つやなし	70	SW	0.67	9
アルミニウム	陽極酸化シート	100	T	0.55	2
アルミ青銅		20	T	0.60	1
エナメル		20	T	0.9	1

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

1	2	3	4	5	6
エナメル	漆	20	T	0.85–0.95	1
エボナイト			T	0.89	1
エメリー	荒目	80	T	0.85	1
クロム	研磨	50	T	0.10	1
クロム	研磨	500–1000	T	0.28–0.38	1
コンクリート		20	T	0.92	2
コンクリート	ざらざらの状態	17	SW	0.97	5
コンクリート	乾燥	36	SW	0.95	7
コンクリート	歩道	5	LLW	0.974	8
ゴム	硬質	20	T	0.95	1
ゴム	軟質、灰色、粗目	20	T	0.95	1
スタッコ	粗目、石灰	10–90	T	0.91	1
ステンレス鋼	シート、未処理、多少のひっかき傷	70	LW	0.28	9
ステンレス鋼	シート、未処理、多少のひっかき傷	70	SW	0.30	9
ステンレス鋼	シート、研磨	70	LW	0.14	9
ステンレス鋼	シート、研磨	70	SW	0.18	9
ステンレス鋼	タイプ 18-8、800°C で酸化	60	T	0.85	2
ステンレス鋼	タイプ 18-8、もみ皮研磨	20	T	0.16	2
ステンレス鋼	合金、8% ニッケル、18% クロム	500	T	0.35	1
ステンレス鋼	巻き取り	700	T	0.45	1
ステンレス鋼	砂吹き	700	T	0.70	1
スラグ	ボイラー	0–100	T	0.97–0.93	1
スラグ	ボイラー	200–500	T	0.89–0.78	1
スラグ	ボイラー	600–1200	T	0.76–0.70	1

1	2	3	4	5	6
スラグ	ボイラー	1400–1800	T	0.69–0.67	1
タイル	光沢	17	SW	0.94	5
タングステン		200	T	0.05	1
タングステン		600–1000	T	0.1–0.16	1
タングステン		1500–2200	T	0.24–0.31	1
タングステン	フィラメント	3300	T	0.39	1
タール			T	0.79–0.84	1
タール	紙	20	T	0.91–0.93	1
チタン	540°C で酸化	200	T	0.40	1
チタン	540°C で酸化	500	T	0.50	1
チタン	540°C で酸化	1000	T	0.60	1
チタン	研磨	200	T	0.15	1
チタン	研磨	500	T	0.20	1
チタン	研磨	1000	T	0.36	1
ニクロム	巻き取り	700	T	0.25	1
ニクロム	砂吹き	700	T	0.70	1
ニクロム	金属線、清潔	50	T	0.65	1
ニクロム	金属線、清潔	500–1000	T	0.71–0.79	1
ニクロム	金属線、酸化	50–500	T	0.95–0.98	1
ニッケル	600°C で酸化	200–600	T	0.37–0.48	1
ニッケル	商業的純度、研磨	100	T	0.045	1
ニッケル	商業的純度、研磨	200–400	T	0.07–0.09	1
ニッケル	明マット	122	T	0.041	4
ニッケル	研磨	122	T	0.045	4
ニッケル	酸化	200	T	0.37	2
ニッケル	酸化	227	T	0.37	4
ニッケル	酸化	1227	T	0.85	4

1	2	3	4	5	6
ニッケル	金属線	200–1000	T	0.1–0.2	1
ニッケル	鉄に電気めっき、未研磨	20	T	0.11–0.40	1
ニッケル	鉄に電気めっき、未研磨	22	T	0.11	4
ニッケル	鉄に電気めっき、研磨	22	T	0.045	4
ニッケル	電気めっき、研磨	20	T	0.05	2
ニッケル	電気分解	22	T	0.04	4
ニッケル	電気分解	38	T	0.06	4
ニッケル	電気分解	260	T	0.07	4
ニッケル	電気分解	538	T	0.10	4
ブリキ	シート	24	T	0.064	4
プラスチック	PVC、プラスチックの床、つやなし、構造体	70	LW	0.93	9
プラスチック	PVC、プラスチックの床、つやなし、構造体	70	SW	0.94	9
プラスチック	ガラス繊維薄板 (印刷済みシルクボード)	70	LW	0.91	9
プラスチック	ガラス繊維薄板 (印刷済みシルクボード)	70	SW	0.94	9
プラスチック	ポリウレタン隔離板	70	LW	0.55	9
プラスチック	ポリウレタン隔離板	70	SW	0.29	9
ボール紙	未処理	20	SW	0.90	6
マグネシウム		22	T	0.07	4
マグネシウム		260	T	0.13	4
マグネシウム		538	T	0.18	4

1	2	3	4	5	6
マグネシウム	研磨	20	T	0.07	2
マグネシウム粉			T	0.86	1
モリブデン		600–1000	T	0.08–0.13	1
モリブデン		1500–2200	T	0.19–0.26	1
モリブデン	フィラメント	700–2500	T	0.1–0.3	1
モルタル		17	SW	0.87	5
モルタル	乾燥	36	SW	0.94	7
ワニス	ぶな材の寄木床上	70	LW	0.90–0.93	9
ワニス	ぶな材の寄木床上	70	SW	0.90	9
ワニス	平坦	20	SW	0.93	6
二酸化銅	粉末		T	0.84	1
亜鉛	400°C で酸化	400	T	0.11	1
亜鉛	シート	50	T	0.20	1
亜鉛	研磨	200–300	T	0.04–0.05	1
亜鉛	表面が酸化	1000–1200	T	0.50–0.60	1
亜鉛めっき鉄	シート	92	T	0.07	4
亜鉛めっき鉄	シート、光沢	30	T	0.23	1
亜鉛めっき鉄	シート、酸化	20	T	0.28	1
亜鉛めっき鉄	強度に酸化	70	LW	0.85	9
亜鉛めっき鉄	強度に酸化	70	SW	0.64	9
土	乾燥	20	T	0.92	2
土	水がしみこんだ状態	20	T	0.95	2
塗料	8色で品質もさまざま	70	LW	0.92–0.94	9
塗料	8色で品質もさまざま	70	SW	0.88–0.96	9

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

1	2	3	4	5	6
塗料	アルミニウム、さまざまな経過年数	50–100	T	0.27–0.67	1
塗料	オイル ベース、平均 16 色	100	T	0.94	2
塗料	カドミウム イエロー		T	0.28–0.33	1
塗料	クロム緑		T	0.65–0.70	1
塗料	コバルト ブルー		T	0.7–0.8	1
塗料	プラスチック、白	20	SW	0.84	6
塗料	プラスチック、黒	20	SW	0.95	6
塗料	油	17	SW	0.87	5
塗料	油、多色	100	T	0.92–0.96	1
塗料	油、灰色光沢	20	SW	0.96	6
塗料	油、灰色平坦	20	SW	0.97	6
塗料	油、黒光沢	20	SW	0.92	6
塗料	油、黒色平坦	20	SW	0.94	6
壁紙	薄い模様、明灰色	20	SW	0.85	6
壁紙	薄い模様、赤	20	SW	0.90	6
布	黒	20	T	0.98	1
木材		17	SW	0.98	5
木材		19	LLW	0.962	8
木材	ベニヤ合板、平滑、乾燥	36	SW	0.82	7
木材	ベニヤ合板、未処理	20	SW	0.83	6
木材	地面		T	0.5–0.7	1
木材	松材、4つのサンプル	70	LW	0.81–0.89	9

1	2	3	4	5	6
木材	松材、4つのサンプル	70	SW	0.67–0.75	9
木材	白、湿った状態	20	T	0.7–0.8	1
木材	面状	20	T	0.8–0.9	1
木材	面状ぶな材	20	T	0.90	2
木材	面状ぶな材	70	LW	0.88	9
木材	面状ぶな材	70	SW	0.77	9
水	1 層 >0.1 mm の厚さ	0–100	T	0.95–0.98	1
水	氷、滑らか	–10	T	0.96	2
水	氷、滑らか	0	T	0.97	1
水	氷、表面に多量の霜	0	T	0.98	1
水	蒸留	20	T	0.96	2
水	雪		T	0.8	1
水	雪	–10	T	0.85	2
水	霜の結晶体	–10	T	0.98	2
水酸化アルミニウム	粉末		T	0.28	1
氷: 水を参照					
油、潤滑用	0.025 mm の薄膜	20	T	0.27	2
油、潤滑用	0.050 mm の薄膜	20	T	0.46	2
油、潤滑用	0.125 mm の薄膜	20	T	0.72	2
油、潤滑用	ニッケルベース上の薄膜: ニッケル ベースのみ	20	T	0.05	2
油、潤滑用	厚塗り	20	T	0.82	2
漆	3色でアルミニウム上に吹き付け	70	LW	0.92–0.94	9
漆	3色でアルミニウム上に吹き付け	70	SW	0.50–0.53	9

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

1	2	3	4	5	6
漆	ざらざらの表面上のアルミニウム	20	T	0.4	1
漆	フェノール樹脂	80	T	0.83	1
漆	白	40–100	T	0.8–0.95	1
漆	白	100	T	0.92	2
漆	耐熱	100	T	0.92	1
漆	黒、つやあり、鉄に吹き付け	20	T	0.87	1
漆	黒、つやなし	40–100	T	0.96–0.98	1
漆	黒、マット	100	T	0.97	2
漆喰		17	SW	0.86	5
漆喰	石膏ボード、未処理	20	SW	0.90	6
漆喰	粗目コート	20	T	0.91	2
炭素	ろうそくの煤煙	20	T	0.95	2
炭素	油煙	20–400	T	0.95–0.97	1
炭素	炭粉		T	0.96	1
炭素	黒鉛、表面にやすりをかけたもの	20	T	0.98	2
炭素	黒鉛粉		T	0.97	1
煉瓦	アルミナ	17	SW	0.68	5
煉瓦	シリカ、95% SiO_2	1230	T	0.66	1
煉瓦	シリマナイト、33% SiO_2、64% Al_2O_3	1500	T	0.29	1
煉瓦	ディナス シリカ、低光沢、ざらざらの状態	1000	T	0.80	1
煉瓦	ディナス シリカ、光沢、ざらざらの状態	1100	T	0.85	1

1	2	3	4	5	6
煉瓦	ディナス シリカ、耐火	1000	T	0.66	1
煉瓦	共通	17	SW	0.86–0.81	5
煉瓦	石造り	35	SW	0.94	7
煉瓦	石造り、漆喰	20	T	0.94	1
煉瓦	耐水	17	SW	0.87	5
煉瓦	耐火、わずかに放射	500–1000	T	0.65–0.75	1
煉瓦	耐火、コランダム	1000	T	0.46	1
煉瓦	耐火、マグネサイト	1000–1300	T	0.38	1
煉瓦	耐火、強度に放射	500–1000	T	0.8–0.9	1
煉瓦	耐火煉瓦	17	SW	0.68	5
煉瓦	耐火粘土	20	T	0.85	1
煉瓦	耐火粘土	1000	T	0.75	1
煉瓦	耐火粘土	1200	T	0.59	1
煉瓦	赤、ざらざらの状態	20	T	0.88–0.93	1
煉瓦	赤、共通	20	T	0.93	2
発泡スチロール	絶縁	37	SW	0.60	7
白金		17	T	0.016	4
白金		22	T	0.03	4
白金		100	T	0.05	4
白金		260	T	0.06	4
白金		538	T	0.10	4
白金		1000–1500	T	0.14–0.18	1
白金		1094	T	0.18	4
白金	リボン	900–1100	T	0.12–0.17	1
白金	純粋、研磨	200–600	T	0.05–0.10	1

1	2	3	4	5	6
白金	金属線	50–200	T	0.06–0.07	1
白金	金属線	500–1000	T	0.10–0.16	1
白金	金属線	1400	T	0.18	1
皮膚	人間	32	T	0.98	2
皮革	褐色		T	0.75–0.80	1
真鍮	80 グリットのエメリーで摩擦	20	T	0.20	2
真鍮	600°C で酸化	200–600	T	0.59–0.61	1
真鍮	つやなし、変色	20–350	T	0.22	1
真鍮	シート、エメリーにて処理	20	T	0.2	1
真鍮	シート、巻き取り	20	T	0.06	1
真鍮	十分に研磨済み	100	T	0.03	2
真鍮	研磨	200	T	0.03	1
真鍮	酸化	70	SW	0.04–0.09	9
真鍮	酸化	70	LW	0.03–0.07	9
真鍮	酸化	100	T	0.61	2
石灰			T	0.3–0.4	1
石膏		20	T	0.8–0.9	1
砂			T	0.60	1
砂		20	T	0.90	2
砂岩	ざらざらの状態	19	LLW	0.935	8
砂岩	研磨	19	LLW	0.909	8
磁器	光沢	20	T	0.92	1
磁器	白、つやあり		T	0.70–0.75	1
粘土	燃焼	70	T	0.91	1
紙	4 色	70	LW	0.92–0.94	9
紙	4 色	70	SW	0.68–0.74	9
紙	白	20	T	0.7–0.9	1

1	2	3	4	5	6
紙	白、3種類の光沢	70	LW	0.88–0.90	9
紙	白、3種類の光沢	70	SW	0.76–0.78	9
紙	白色接着剤	20	T	0.93	2
紙	緑		T	0.85	1
紙	赤		T	0.76	1
紙	青、暗色		T	0.84	1
紙	黄色		T	0.72	1
紙	黒		T	0.90	1
紙	黒、つやなし		T	0.94	1
紙	黒、つやなし	70	LW	0.89	9
紙	黒、つやなし	70	SW	0.86	9
紙	黒漆で上塗り		T	0.93	1
繊維板	チップボード	70	LW	0.89	9
繊維板	チップボード	70	SW	0.77	9
繊維板	メゾナイト	70	LW	0.88	9
繊維板	メゾナイト	70	SW	0.75	9
繊維板	多孔、未処理	20	SW	0.85	6
繊維板	硬質、未処理	20	SW	0.85	6
花崗岩	ざらざらの状態	21	LLW	0.879	8
花崗岩	ざらざらの状態、4つのサンプル	70	LW	0.77–0.87	9
花崗岩	ざらざらの状態、4つのサンプル	70	SW	0.95–0.97	9
花崗岩	研磨	20	LLW	0.849	8
酸化アルミニウム	活性、粉末		T	0.46	1
酸化アルミニウム	純粋、粉末(アルミナ)		T	0.16	1
酸化ニッケル		500–650	T	0.52–0.59	1

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

1	2	3	4	5	6
酸化ニッケル		1000–1250	T	0.75–0.86	1
酸化銅	赤、粉末		T	0.70	1
金	入念に研磨	200–600	T	0.02–0.03	1
金	十分に研磨済み	100	T	0.02	2
金	研磨	130	T	0.018	1
鉄、鋳込	600°C で酸化	200–600	T	0.64–0.78	1
鉄、鋳込	インゴット	1000	T	0.95	1
鉄、鋳込	未加工	900–1100	T	0.87–0.95	1
鉄、鋳込	機械仕上げ	800–1000	T	0.60–0.70	1
鉄、鋳込	液状	1300	T	0.28	1
鉄、鋳込	研磨	38	T	0.21	4
鉄、鋳込	研磨	40	T	0.21	2
鉄、鋳込	研磨	200	T	0.21	1
鉄、鋳込	酸化	38	T	0.63	4
鉄、鋳込	酸化	100	T	0.64	2
鉄、鋳込	酸化	260	T	0.66	4
鉄、鋳込	酸化	538	T	0.76	4
鉄、鋳込	鋳造	50	T	0.81	1
鉄鋼	ざらざらの状態、平面	50	T	0.95–0.98	1
鉄鋼	つやあり、腐食	150	T	0.16	1
鉄鋼	つやあり酸化層、シート	20	T	0.82	1
鉄鋼	低温巻き取り	70	LW	0.09	9
鉄鋼	低温巻き取り	70	SW	0.20	9
鉄鋼	加工済み、入念に研磨	40–250	T	0.28	1
鉄鋼	巻き取り、処理したて	20	T	0.24	1
鉄鋼	巻き取りシート	50	T	0.56	1

1	2	3	4	5	6
鉄鋼	強度に酸化	50	T	0.88	1
鉄鋼	強度に酸化	500	T	0.98	1
鉄鋼	接地シート	950–1100	T	0.55–0.61	1
鉄鋼	新たにエメリーにて処理	20	T	0.24	1
鉄鋼	研磨	100	T	0.07	2
鉄鋼	研磨	400–1000	T	0.14–0.38	1
鉄鋼	研磨したシート	750–1050	T	0.52–0.56	1
鉄鋼	赤錆の付いた状態	20	T	0.61–0.85	1
鉄鋼	赤錆付き、シート	22	T	0.69	4
鉄鋼	酸化	100	T	0.74	1
鉄鋼	酸化	100	T	0.74	4
鉄鋼	酸化	125–525	T	0.78–0.82	1
鉄鋼	酸化	200	T	0.79	2
鉄鋼	酸化	200–600	T	0.80	1
鉄鋼	酸化	1227	T	0.89	4
鉄鋼	重度に錆びたシート	20	T	0.69	2
鉄鋼	重度に錆付き	17	SW	0.96	5
鉄鋼	錆びた状態、赤	20	T	0.69	1
鉄鋼	電気分解	22	T	0.05	4
鉄鋼	電気分解	100	T	0.05	4
鉄鋼	電気分解	260	T	0.07	4
鉄鋼	電解、入念に研磨	175–225	T	0.05–0.06	1
鉄鋼	高温巻き取り	20	T	0.77	1
鉄鋼	高温巻き取り	130	T	0.60	1
鉛	200°C で酸化	200	T	0.63	1
鉛	つやあり	250	T	0.08	1

Publ. No. T559733_ja-JP Rev. a571 – JAPANESE (JA) – November 4, 2011

1	2	3	4	5	6
鉛	酸化、灰色	20	T	0.28	1
鉛	酸化、灰色	22	T	0.28	4
鉛	非酸化、研磨	100	T	0.05	4
鉛赤		100	T	0.93	4
鉛赤、粉末		100	T	0.93	1
銀	研磨	100	T	0.03	2
銀	純粋、研磨	200–600	T	0.02–0.03	1
銅	商用、光沢	20	T	0.07	1
銅	強度に酸化	20	T	0.78	2
銅	擦り傷	27	T	0.07	4
銅	暗黒色に酸化		T	0.88	1
銅	溶解	1100–1300	T	0.13–0.15	1
銅	研磨	50–100	T	0.02	1
銅	研磨	100	T	0.03	2
銅	研磨、商用	27	T	0.03	4
銅	研磨、機械用	22	T	0.015	4
銅	純粋、表面は入念に準備	22	T	0.008	4
銅	酸化	50	T	0.6–0.7	1
銅	酸化、黒	27	T	0.78	4
銅	電解、入念に研磨	80	T	0.018	1
銅	電解、研磨	–34	T	0.006	4
錫	光沢	20–50	T	0.04–0.06	1
錫	錫めっきしたシート状の鉄	100	T	0.07	2
雪: 水を参照					
青銅	多孔、ざらざらの状態	50–150	T	0.55	1
青銅	燐銅	70	LW	0.06	9

1	2	3	4	5	6
青銅	燐銅	70	SW	0.08	9
青銅	研磨	50	T	0.1	1
青銅	粉末		T	0.76–0.80	1